



DEUTSCHES
PATENTAMT

21 Aktenzeichen: P 35 22 564.5
22 Anmeldetag: 24. 6. 85
43 Offenlegungstag: 2. 1. 86

DE 3522564 A1

30 Unionspriorität: 32 33 31
25.06.84 US 624,490

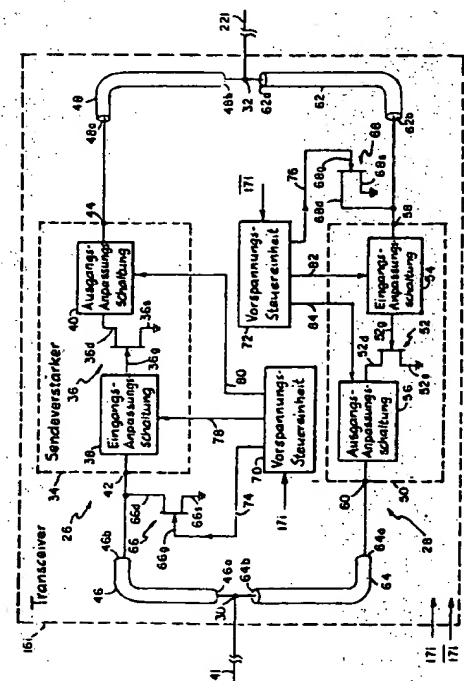
71 Anmelder:
Raytheon Co., Lexington, Mass., US

74 Vertreter:
Dorner, J., Dipl.-Ing. Dr.-Ing., 8000 München;
Hufnagel, W., Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing.,
Pat.-Anw., 8500 Nürnberg

72 Erfinder:
Selin, John R., Stow, Mass., US; Jessen, Donald N.,
Sudbury, Mass., US

54 Sende-/Empfangsschalter

Sende-/Empfangs-Schalteneinrichtung für einen Transceiver, die während des Sendebetriebs die Empfangsschaltung des Transceivers von dem ersten und dem zweiten Transceiver-Port elektrisch abkoppelt und während des Empfangsbetriebs die Sendeschaltung des Transceivers von dem ersten und dem zweiten Transceiver-Port abkoppelt. Sowohl die Sende- als auch die Empfangsschaltung enthalten einen Verstärker zum Verstärken eines anliegenden Mikrowellensignals, die mit einer relativ hohen Ausgangsimpedanz arbeiten, wenn an ihnen Spannung anliegt. Diese Verstärker haben hingegen keine Verstärkungswirkung, wenn die genannte Spannung abgetrennt wird. Eine erste schaltbare Vorspannungs-Steuereinheit legt während des Sendebetriebs Spannung an den Sendeverstärker und trennt während des Empfangsbetriebs diese Spannung von dem Sendeverstärker ab, so daß die relativ hohe Ausgangsimpedanz des Sendeverstärkers in eine relativ niedrige Ausgangsimpedanz umgeschaltet wird. Eine zweite schaltbare Vorspannungs-Steuereinheit legt während des Empfangsbetriebs Spannung an den Empfangsverstärker und trennt diese Spannung während des Sendebetriebs von dem Empfangsverstärker ab, so daß die relativ hohe Ausgangsimpedanz des Empfangsverstärkers in eine relativ niedrige Ausgangsimpedanz umgeschaltet wird. Eine weitere in der Sendeschaltung vorgesehene Schaltung koppelt das verstärkte Mikrowellensignal während des Sendebetriebs von dem Sendeverstärker zu dem zweiten Transceiver-Port und ...



DE 3522564 A1

Patentansprüche

1. Sende-/Empfangs-Schalter

gekennzeichnet durch

eine Verstärkungseinrichtung zur Verstärkung eines anliegenden Signals, die mit einer relativ hohen Ausgangs-
5 impedanz arbeitet, wenn an ihr Spannung anliegt, und deren Verstärkungswirkung für das anliegende Signal unterbunden ist, wenn die genannte Spannung von ihr abgetrennt wird,

eine auf ein Steuersignal ansprechende Schalteinrichtung zum Anschalten der genannten Spannung an die Verstärkungs-
10 einrichtung während einer ersten Betriebsart und zum Abtrennen der Spannung von der Verstärkungseinrichtung während einer zweiten Betriebsart, derart daß die relativ hohe Ausgangsimpedanz der Verstärkungseinrichtung auf eine relativ niedrige Ausgangsimpedanz umgeschaltet wird,

15 sowie eine Kopplungs- und Transformationseinrichtung, die das verstärkte Signal während der ersten Betriebsart an einen Ausgangsport koppelt und die während der zweiten Betriebsart die relativ niedrige Ausgangsimpedanz in eine relativ hohe Impedanz an dem Ausgangsport transformiert.

20 2. Schalter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Verstärkungseinrichtung einen Ausgangstransistor beinhaltet, der

eine von dem anliegenden Signal beaufschlagbare Eingangselektrode,
25

eine mit der Kopplungs- und Transformationseinrichtung verbundene Ausgangselektrode

sowie eine gemeinsame Elektrode umfaßt, die mit einem Bezugspotential verbunden ist,

30 wobei die zwischen der Ausgangselektrode und der gemeinsamen Elektrode vorhandene Impedanz die Ausgangsimpedanz der Verstärkungseinrichtung darstellt.

3. Schalter nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Ausgangstransistor ein Feldeffekttransistor mit einer Gate-Elektrode, einer Drain-Elektrode und einer Source-Elektrode ist, wobei die Gate-Elektrode die Eingangselektrode, die Drain-Elektrode die Ausgangselektrode und die Source-Elektrode die gemeinsame Elektrode darstellt.
4. Schalter nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Referenzpotential von Erdpotential gebildet ist.
5. Schalter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Kopplungs- und Transformationseinrichtung ein Netzwerk, sowie eine mit dem Netzwerk verbundene Übertragungsleitung beinhaltet und daß die Ausgangselektrode über das Netzwerk mit der Schalteinrichtung zum Anlegen und Abtrennen der schaltbaren Spannung verbunden ist.
6. Schalter nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Kopplungs- und Transformationseinrichtung so ausgebildet ist, daß sie zwischen der Ausgangselektrode und dem Ausgangsport eine vorbestimmte Phasenverschiebung erzeugt, die im wesentlichen einem ungeradzahligen Vielfachen eines Viertels der vorbestimmten Wellenlänge entspricht.
7. Schalter nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Kopplungs- und Transformationseinrichtung folgende Teile beinhaltet:
- ein mit der Ausgangselektrode des Ausgangstransistors verbundenes Netzwerk,
 - sowie eine zwischen dem Netzwerk und dem Ausgangsport verlaufende Übertragungsleitung,
 - wobei das Netzwerk bei der vorbestimmten Wellenlänge einen vorbestimmten Lastwiderstand für den Ausgangstransistor bildet, für die Übertragungsleitung eine vorbestimmte Impedanz darstellt und eine erste vorbestimmte Phasenverschiebung erzeugt.

8. Schalter nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Übertragungsleitung eine vorbestimmte elektrische Länge besitzt, die so bemessen ist, daß sie bei der vorbestimmten Wellenlänge eine zweite vorbestimmte Phasenverschiebung erzeugt, wobei die erste und die zweite Phasenverschiebung eine Gesamtphasenverschiebung zwischen der Ausgangselektrode und dem Ausgangsport darstellen, die im wesentlichen einem ungeradzahligen Vielfachen eines Viertels der vorbestimmten Wellenlänge entspricht.

9. Transceiver mit einem Sende-/Empfangs-Schalter nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

in welchem ein Signal über einen ersten Schaltkreis, der während einer ersten Betriebsart eine charakteristische Impedanz besitzt, von einem ersten Port zu einem zweiten Port gekoppelt wird,

und in welchem ein Signal über einen zweiten Schaltkreis, der während einer zweiten Betriebsart eine charakteristische Impedanz besitzt von dem zweiten Port zu dem ersten Port gekoppelt wird,

wobei der zweite Schaltkreis während der ersten Betriebsart von dem ersten und dem zweiten Port im wesentlichen elektrisch entkoppelt ist, und der erste Schaltkreis während der zweiten Betriebsart von dem ersten und dem zweiten Port im wesentlichen elektrisch entkoppelt ist,

gekennzeichnet durch

eine erste und eine zweite Verstärkungseinrichtung, die in dem ersten bzw. in dem zweiten Schaltkreis angeordnet sind, die anliegenden Signale verstärken und bei Anlegen der Spannung mit einer relativ hohen Ausgangsimpedanz arbeiten und die keine Verstärkung der anliegenden Signale vornehmen, wenn die Spannung von ihnen abgetrennt wird,

eine auf ein erstes Steuersignal ansprechende Schalteinrichtung, mittels derer die Spannung während der ersten Betriebsart an die erste Verstärkungseinrichtung anlegbar und während der zweiten Betriebsart von ihr abtrennbar

ist, wobei die relativ hohe Ausgangsimpedanz der ersten Verstärkungseinrichtung in eine relativ niedrige Ausgangsimpedanz umgeschaltet wird,

5 eine auf ein zweites Steuersignal ansprechende Schalteinrichtung, mittels derer die Spannung während der zweiten Betriebsart an die zweite Verstärkungseinrichtung anlegbar und während der ersten Betriebsart von ihr abtrennbar ist, wobei die relativ hohe Ausgangsimpedanz der zweiten Verstärkungseinrichtung in eine relativ niedrige Ausgangsimpedanz umgeschaltet wird,

10 eine erste Kopplungs- und Transformationseinrichtung, die das verstärkte Signal während der ersten Betriebsart von der ersten Verstärkungseinrichtung zu dem zweiten Port überträgt und während der zweiten Betriebsart die relativ niedrige Ausgangsimpedanz der ersten Verstärkungseinrichtung an dem zweiten Port in eine Impedanz transformiert,

15 die wesentlich höher als die charakteristische Impedanz des zweiten Schaltkreises, sowie eine zweite Kopplungs- und Transformationseinrichtung, die das verstärkte Signal während der zweiten Betriebsart von der zweiten Verstärkungseinrichtung zu dem ersten Port überträgt und während der ersten Betriebsart die relativ niedrige Ausgangsimpedanz der zweiten Verstärkungseinrichtung an dem ersten Port in eine Impedanz

25 transformiert, die wesentlich höher als die charakteristische Impedanz des ersten Schaltkreises.

10. Transceiver nach Anspruch 9, ferner gekennzeichnet durch

30 eine dem ersten Schaltkreis zugeordnete und auf das erste Steuersignal ansprechende Schalteinrichtung zur elektrischen Entkopplung des ersten Schaltkreises von dem ersten Port während der zweiten Betriebsart,

35 sowie eine dem zweiten Schaltkreis zugeordnete und auf das zweite Steuersignal ansprechende Schalteinrichtung zur elektrischen Entkopplung des zweiten Schaltkreises von dem zweiten Port während der ersten Betriebsart.

3522564

11. Transceiver nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet,
daß die erste Verstärkungseinrichtung einen ersten Ausgangstransistor

mit einer Eingangselektrode, die mit dem anliegenden

Signal beaufschlagt wird,

mit einer Ausgangselektrode, die mit der ersten Kopplungs- und Transformationseinrichtung verbunden ist,

und eine gemeinsame Elektrode, die mit dem Bezugspotential verbunden ist,

umfaßt, wobei die zwischen der Ausgangselektrode und der gemeinsamen Elektrode vorhandene Impedanz die Ausgangsimpedanz der ersten Verstärkungseinrichtung darstellt,

und daß die zweite Verstärkungseinrichtung einen zweiten Ausgangstransistor

mit einer Eingangselektrode, die mit dem anliegenden Signal beaufschlagt wird,

mit einer Ausgangselektrode, die mit der zweiten Kopplungs- und Transformationseinrichtung verbunden ist,

und eine gemeinsame Elektrode, die mit dem Bezugspotential verbunden ist,

umfaßt, wobei die zwischen der Ausgangselektrode und der gemeinsamen Elektrode vorhandene Impedanz die Ausgangsimpedanz der zweiten Verstärkungseinrichtung darstellt.,

12. Transceiver nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet,
daß das Signal eine vorbestimmte Wellenlänge besitzt,

daß die erste Kopplungs- und Transformationseinrichtung so ausgebildet ist, daß sie eine vorbestimmte erste Phasenverschiebung zwischen der Ausgangselektrode des ersten Ausgangstransistors und dem zweiten Port bewirkt, die im wesentlichen eine ungeradzahlige Vielfache eines Viertels der vorbestimmten Wellenlänge ist,

und daß die zweite Kopplungs- und Transformationseinrichtung so ausgebildet ist, daß sie eine vorbestimmte zweite Phasenverschiebung zwischen der Ausgangselektrode des zweiten Ausgangstransistors und dem ersten Port bewirkt, die im wesentlichen eine ungeradzahlige Vielfache eines Viertels der vorbestimmten Wellenlänge ist.

13. Mikrowellen-Transceiver mit einem Sende-/Empfangs-Schalter nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch

a) eine Senderschaltung

mit einem Sendeverstärker,

5 mit einer ersten Übertragungsleitung mit einem Wellenwiderstand, die zwischen einem ersten Port und einem Eingang des Sendeverstärkers liegt,

mit einer zweiten Übertragungsleitung, die zwischen einem Ausgang des Sendeverstärkers und einem zweiten Port liegt,

10 wobei die Sendeschaltung ein anliegendes Mikrowellensignal während der Betriebsart "Senden" von dem ersten Port zu dem zweiten Port koppelt,

b) eine Empfängerschaltung

15 mit einem Empfangsverstärker

mit einer dritten Übertragungsleitung mit einem Wellenwiderstand, die zwischen dem zweiten Port und einem Eingang des Empfangsverstärkers liegt,

mit einer vierten Übertragungsleitung, die zwischen einem Ausgang des Empfangsverstärkers und einem ersten Port liegt,

20 wobei die Empfängerschaltung ein anliegendes Mikrowellensignal während der Betriebsart "Empfang" von dem zweiten Port zu dem ersten Port koppelt,

25 c) eine auf Steuersignale ansprechende Schalteinrichtung zum Anlegen von Spannung an den Sendeverstärker und Abtrennen der Spannung von dem Empfangsverstärker während der Betriebsart "Senden" und zum Abtrennen von Spannung von dem Sendeverstärker und Anlegen der Spannung an den Empfangsverstärker während der Betriebsart "Empfang",

30 wobei derjenige Verstärker, an welchem Spannung anliegt, ein an seinem Eingang anliegendes Mikrowellensignal verstärkt, an einem Ausgang ein verstärktes Mikrowellensignal liefert und mit einer relativ hohen Ausgangsimpedanz arbeitet, während derjenige Verstärker, von dem die Spannung abgetrennt ist, ein an seinem Eingang anliegendes Mikrowellensignal nicht verstärkt und mit einer relativ

niedrigen Ausgangsimpedanz arbeitet,

5 d) eine erste, die zweite Übertragungsleitung beinhaltende Kopplungs- und Transformationseinrichtung, die das verstärkte Mikrowellensignal während der Betriebsart "Senden" von dem Ausgang des Sendeverstärkers zu dem zweiten Port überträgt und während der Betriebsart "Empfang" die relativ niedrige Ausgangsimpedanz des Sendeverstärkers an dem zweiten Port in eine Impedanz transformiert, die wesentlich größer ist als der Wellenwiderstand der dritten Übertragungsleitung,

10 e) eine zweite, die vierte Übertragungsleitung beinhaltende Kopplungs- und Transformationseinrichtung, die das verstärkte Mikrowellensignal während der Betriebsart "Empfang" von dem Ausgang des Empfangsverstärkers zu dem ersten Port überträgt und während der Betriebsart "Senden" die relativ niedrige Ausgangsimpedanz des Empfangsverstärkers an dem ersten Port in eine Impedanz transformiert, die wesentlich größer ist als der Wellenwiderstand der ersten Übertragungsleitung.

20

14. Mikrowellen-Transceiver nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß das Mikrowellensignal eine vorbestimmte Wellenlänge hat und daß die erste und die zweite Kopplungs- und Transformationseinrichtung jeweils so ausgebildet sind, daß sie zwischen dem Ausgang des zugeordneten Verstärkers und dem zugeordneten Port eine vorbestimmte Phasenverschiebung erzeugen, die im wesentlichen einem ungeradzahligen Vielfachen eines Viertels der Wellenlänge entspricht.

30

15. Mikrowellen-Transceiver nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Kopplungs- und Transformationseinrichtung ferner ein zwischen dem Ausgang des Sendeverstärkers und der zweiten Übertragungsleitung liegendes erstes Netzwerk umfaßt, das bei der vorbestimmten Wellenlänge einen vorbestimmten Lastwiderstand für den Sendeverstärker bildet, der zweiten Übertragungsleitung eine

35

vorbestimmte Impedanz bietet und eine erste Phasenverschiebung erzeugt.

5 16. Mikrowellen-Transceiver nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Übertragungsleitung so bemessen ist, daß sie bei der vorbestimmten Wellenlänge eine zweite Phasenverschiebung erzeugt, wobei die erste und die zweite Phasenverschiebung eine Gesamtphasenverschiebung darstellen, die im wesentlichen einem ungeradzahligem Vielfachen eines Viertels der Wellenlänge entspricht.

15 17. Mikrowellen-Transceiver nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Kopplungs- und Transformationseinrichtung ferner ein zwischen dem Ausgang des Empfangsverstärkers und der vierten Übertragungsleitung liegendes zweites Netzwerk umfaßt, das bei der vorbestimmten Wellenlänge einen vorbestimmten Lastwiderstand für den Empfangsverstärker bildet, der vierten Übertragungsleitung
20 eine vorbestimmte Impedanz bietet und eine erste Phasenverschiebung erzeugt.

25 18. Mikrowellen-Transceiver nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß die vierte Übertragungsleitung so bemessen ist, daß sie bei der vorbestimmten Wellenlänge eine zweite Phasenverschiebung erzeugt, wobei die erste und die zweite Phasenverschiebung eine Gesamtphasenverschiebung darstellen, die im wesentlichen einem ungeradzahligem Vielfachen eines Viertels der Wellenlänge entspricht.

30 19. Mikrowellen-Transceiver nach Anspruch 14 dadurch gekennzeichnet, daß der Sendeverstärker und der Empfangsverstärker jeweils einen Ausgangstransistor beinhalten, und daß jeder dieser Ausgangstransistoren
35 eine von dem anliegenden Signal beaufschlagbare Eingangselektrode,

eine mit einem Bezugspotential verbundene gemeinsame Elektrode sowie

eine den Ausgang des Verstärkers bildende Ausgangselektrode

5 besitzt,

wobei die Ausgangsimpedanz sowohl des Sendeverstärkers als auch des Empfangsverstärkers zwischen der Ausgangselektrode und der gemeinsamen Elektrode jedes Ausgangstransistors der Verstärker vorhanden ist.

10

20. Mikrowellen-Transceiver nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß das Bezugspotential von dem Erdpotential gebildet ist.

15

21. Mikrowellen-Transceiver nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß der Ausgangstransistor von einem Feldeffekttransistor gebildet ist.

20

22. Mikrowellen-Transceiver nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Kopplungs- und Transformationseinrichtung ein zwischen der Ausgangselektrode des Sendeverstärkers und der zweiten Übertragungsleitung angeordnetes Netzwerk umfaßt, über welches die Ausgangselektrode mit der Schalteinrichtung zum Anlegen und Abtrennen

25

der genannten Spannung verbunden ist.

23. Mikrowellen-Transceiver nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Kopplungs- und Transformationseinrichtung ein zwischen der Ausgangselektrode des

30

Ausgangstransistors des Empfangsverstärkers und der vierten Übertragungsleitung angeordnetes Netzwerk umfaßt, über welches die Ausgangselektrode mit der Schalteinrichtung zum Anlegen und Abtrennen der genannten Spannung verbunden ist.

35

24. Mikrowellen-Transceiver nach Anspruch 14, ferner gekennzeichnet durch

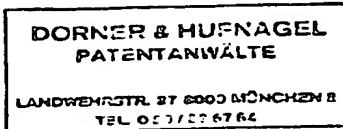
ein erstes Schaltmittel, das der ersten Übertragungsleitung zugeordnet sind und dem von der genannten Schalteinrichtung zum Anlegen und Abtrennen der Spannung ein erstes Schaltsignal zuführbar ist, durch das es zwischen einem
5. ersten Zustand während der Betriebsart "Senden" und einem zweiten Zustand während der Betriebsart "Empfang" umschaltbar ist,

wobei die Sendeschaltung dem ersten Port eine Impedanz bietet, die im wesentlichen dem Wellenwiderstand der ersten Übertragungsleitung entspricht, wenn das erste Schaltmittel in den ersten Zustand geschaltet ist, und die wesentlich größer ist als dieser Wellenwiderstand, wenn das erste Schaltmittel in den zweiten Zustand geschaltet ist,

sowie ein zweites Schaltmittel, das der dritten Übertragungsleitung zugeordnet sind und dem von der genannten Schalteinrichtung zum Anlegen und Abtrennen der Spannung ein zweites Schaltsignal zuführbar ist, durch das es zwischen einem ersten Zustand während der Betriebsart
15. "Empfang" und einem zweiten Zustand während der Betriebsart "Senden" umschaltbar ist,

wobei die Empfangschaltung dem zweiten Port eine Impedanz bietet, die im wesentlichen dem Wellenwiderstand der dritten Übertragungsleitung entspricht, wenn das zweite Schaltmittel in den ersten Zustand geschaltet ist, und die
25. wesentlich größer ist als dieser Wellenwiderstand, wenn das zweite Schaltmittel in den zweiten Zustand geschaltet ist.

3522564



- 11 -

München, den 19. Juni 1985

Anwaltsaktenz.: 27 - Pat. 370

Raytheon Company, 141 Spring Street, Lexington, Mass. 02173,
Vereinigte Staaten von Amerika

Sende-/Empfangsschalter

Die Erfindung betrifft das Gebiet der Mikrowellenschaltungen und bezieht sich insbesondere auf Sende-/Empfangsschalter für Mikrowellenschaltungen.

Bekanntlich ist das Anwendungsgebiet von Sende-/Empfangsschaltern für Mikrowellenschaltungen sehr groß. Bei einer der bekannten Anwendungen ist ein Verstärker vorgesehen, der mit einem Ausgang über eine Übertragungsleitung mit einem Ausgangsport verbunden ist, der seinerseits zusätzlich mit anderen Schaltungen gekoppelt ist. Wenn der Verstärker in Betrieb ist, wird ein von ihm verstärktes Mikrowellensignal über die Übertragungsleitung zu dem Ausgangsport übertragen. Wenn der Verstärker hingegen nicht in Betrieb ist, sollten er und die ihm zugeordnete Übertragungsleitung von dem Ausgangsport entkoppelt sein, damit nicht Signale von anderen Schaltungen in die Verstärkerschaltung eingekoppelt werden können. Eine solche Entkopplung wird mit Hilfe von Sende-/Empfangsschaltern bewerkstelligt. Ein bekannter Sende-/Empfangsschalter umfaßt einen Feldeffekttransistor (FET) vom Verarmungstyp, dessen Source-Elektrode mit Masse verbunden ist. Die Drain-Elektrode ist mit der Verbindung zwischen dem Verstärkerausgang und der Übertragungsleitung verbunden. Das Gate wird mit einem Steuersignal beaufschlagt, wodurch der FET in nichtleitendem Zustand

gehalten wird, wenn der Verstärker in Betrieb ist, bzw. in den voll leitenden Zustand umgesteuert wird, wenn der Verstärker nicht in Betrieb ist. Wenn sich der FET in seinem nichtleitenden Zustand befindet, ist die Impedanz zwischen Drain- und Source-Elektrode sehr hoch, so daß das Verstärker-Mikrowellensignal über die Übertragungsleitung zu dem Ausgangsport gekoppelt wird. Wenn der FET hingegen in seinen voll leitenden Zustand umgesteuert wird, ist die Impedanz zwischen Drain- und Source-Elektrode sehr niedrig, so daß der Ausgang des Verstärkers im wesentlichen auf Massepotential liegt. Die zwischen dem Verstärkerausgang und dem Ausgangsport liegende Übertragungsleitung hat eine elektrische Länge, die einer Viertelwellenlänge bei Nennfrequenz des Mikrowellensignals entspricht, so daß sie das Massepotential am verstärkerseitigen Ende der Übertragungsleitung in eine hohe Impedanz am Ausgangsport transformiert, wodurch der Verstärker und die Übertragungsleitung von dem Ausgangsport elektrisch entkoppelt werden, wenn der Verstärker nicht in Betrieb ist.

Eine solche Anordnung findet in Mikrowellen-Sender-/Empfängermodulen (transceiver) Anwendung, wie sie beispielsweise in phasengesteuerten Antennen (Phased-array-Antennen) verwendet werden. Ein typischer Transceiver umfaßt einen Senderkanal mit einem Sendeverstärker, der über zwei Viertelwellenlängen-Übertragungsleitungen zwischen erste und zweite Ports geschaltet ist, sowie einen Empfängerkanal mit einem Empfangsverstärker, der über zwei Viertelwellenlängen-Übertragungsleitungen zwischen die ersten und die zweiten Ports geschaltet ist. Für einen wirksamen Betrieb des Transceivers sollten die Kanäle elektrisch voneinander entkoppelt sein. Somit dient die oben beschriebene Sende-/Empfangsschalteranordnung in beiden Kanälen zur elektrischen Entkopplung des Empfängerkanals von den ersten und den zweiten Ports, wenn der Sendekanal in Betrieb ist, und umgekehrt zur elektrischen Entkopplung des Sendekanals von den ersten und den zweiten Ports, wenn der Empfangskanal in Betrieb ist. Eine typische Sende-/Empfangsschalter-

anordnung umfaßt zwei Paare von Feldeffekttransistoren, deren Source-Elektroden mit Masse verbunden sind, wobei ein erstes Paar dem Sendeverstärker und ein zweites Paar dem Empfangsverstärker zugeordnet ist. Die Drain-Elektroden jedes Transistorpaares sind mit den Eingangs- bzw. Ausgangsklemmen des zugeordneten Verstärkers verbunden. Den Gate-Elektroden des ersten Transistorpaares ist ein Sende-Steuersignal zuführbar, während die Gate-Elektroden des zweiten Transistorpaares mit einem Empfangs-Steuersignal beaufschlagt werden. Während des Sendebetriebs bewirkt das Sende-Steuersignal, daß die Gate-Elektroden des ersten Transistorpaares mit einer Vorspannung beaufschlagt werden, die der FET-pinch-off-Spannung entspricht, während das Empfangs-Steuersignal die Gate-Elektroden des zweiten Transistorpaares auf Null Volt vorspannt. Bei Empfangsbetrieb ist es umgekehrt, d. h. das Sende-Steuersignal spannt die Gate-Elektrode des ersten Feldeffekttransistorpaares auf Null Volt vor, während das Empfangs-Steuersignal die Gate-Elektroden des zweiten Feldeffekttransistorpaares auf die FET-pinch-off-Spannung vorspannt. In jeder Betriebsphase ist die Drain-Source-Strecke derjenigen Feldeffekttransistoren, die auf die pinch-off-Spannung vorgespannt sind, hochohmig, so daß zwischen Masse und den Eingangs- und Ausgangsklemmen des zugeordneten Verstärkers eine hohe Impedanz liegt und der betreffende Kanal korrekt arbeiten kann. Die Drain-Source-Strecken derjenigen Feldeffekttransistoren, die auf Null Volt vorgespannt sind, sind hingegen voll leitend, so daß sie die Eingangs- und Ausgangsklemmen des zugeordneten Verstärkers durch einen Kurzschluß im wesentlichen auf Massepotential legen. Somit sind die beiden Übertragungsleitungen, die den betreffenden Verstärker zwischen die ersten und die zweiten Ports einfügen, an den verstärkerseitigen Enden auf Massepotential kurzgeschlossen. Da jede Übertragungsleitung eine elektrische Länge besitzt, die einer Viertelwellenlänge bei Nennfrequenz des Transceivers entspricht, werden die Masse-Kurzschlüsse an den verstärkerseitigen Enden (1) (2) solchen Paares von Übertragungsleitungen durch die Leitungen selbst

in hohe Impedanzen an den ersten und zweiten Ports transformiert, wodurch der Kanal von den ersten und zweiten Ports elektrisch entkoppelt sind.

Obwohl Sende-Empfangs-Schalteranordnungen der beschriebenen Art bei einer Reihe von Anwendungen befriedigend arbeiten, besitzen sie doch eine Reihe von Nachteilen. So ist die Drain-Elektrode des Feldeffekttransistors, die mit der Ausgangsklemme des Sende-verstärkers verbunden ist, während des Sendebetriebs verhältnismäßig hohen Mikrowellenspannungen ausgesetzt. Wie erwähnt, wird dieser Feldeffekttransistor während des Sendebetriebs mit der pinch-off-Spannung beaufschlagt und muß bei allen Leistungspiegeln des gesendeten Mikrowellensignals in dem pinch-off-Zustand bleiben. Die als Sende-/Empfangs-Schalter arbeitenden Feldeffekttransistoren sind üblicherweise n-Kanal-Anordnungen. Wenn die Mikrowellenspannung an dem Ausgang des Sendeverstärkers in den Bereich positiver Augenblickswerte kommt, muß die Gate-Elektrode lediglich negativer sein als die pinch-off-Spannung des Feldeffekttransistors, um diesen in dem pinch-off-Zustand zu halten, da die mit Massepotential verbundene Source-Elektrode auch die effektive Quellenklemme der Anordnung darstellt. Bei negativen Augenblickswerten der Mikrowellenspannung an dem Ausgang des Sendeverstärkers jedoch wird die Drain-Elektrode des Feldeffekttransistors negativer als die geerdete Source-Elektrode, so daß sie die effektive Quellenklemme der Anordnung wird. Damit der Feldeffekttransistor in seinem pinch-off-Zustand verbleibt, muß das Sende-Steuersignal also auf einem Wert halten, der zumindest um die pinch-off-Spannung negativer ist als der negative Augenblickswert des gesendeten Mikrowellensignals. Dementsprechend ist der Augenblickswert der zwischen gate- und drainwirksamen Spannung während positiver Augenblickswerte der Mikrowellenspannung groß. Der Feldeffekttransistor muß eine Gate-Drain-Durchbruchsspannung haben, die größer ist als diese Augenblicksspannung, damit er nicht beschädigt wird. Da die Gate-Drain-Durchbruchsspannungen üblicher Feldeffekttransistoren begrenzt sind, ist die Leistungsfähigkeit von Transceivern,

3522564

die mit dieser Art von Sende-/Empfangs-Schaltern arbeiten entsprechend begrenzt. Außerdem führt das Feldeffekttransistoren-paar, das sich jeweils im pinch-off-Zustand befindet, einen geringfügigen Strom zwischen Drain- und Source-Elektrode, so daß der zugeordnete Kanal etwas belastet wird. Dies führt zu Einfügungsverlusten in diesem Kanal und zu einem entsprechenden Leistungsverlust des Mikrowellensignals.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Sende-/Empfangsschalter zu schaffen, der hohe Verstärkung erlaubt und besonderes niedrige Einfüguingsverluste besitzt.

- 5 Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch einen Sende-/Empfangs-Schalter, der folgende Merkmale aufweist: eine Verstärkungseinrichtung zur Verstärkung eines an-
liegenden Signals, die mit einer relativ hohen Ausgangs-
impedanz arbeitet, wenn an ihr Spannung anliegt, und deren
10 Verstärkungswirkung für das anliegende Signal unterbunden ist, wenn die genannte Spannung von ihr abgetrennt wird, eine auf ein Steuersignal ansprechende Schalteinrichtung zum Anschalten der genannten Spannung an die Verstärkungs-
einrichtung während einer ersten Betriebsart und zum Ab-
15 trennen der Spannung von der Verstärkungseinrichtung wäh- rend einer zweiten Betriebsart, derart daß die relativ ho-
he Ausgangsimpedanz der Verstärkungseinrichtung auf eine relativ niedrige Ausgangsimpedanz umgeschaltet wird, sowie eine Kopplungs- und Transformationseinrichtung, die das
20 verstärkte Signal während der ersten Betriebsart an einen Ausgangsport koppelt und die während der zweiten Betriebs- art die relativ niedrige Ausgangsimpedanz in eine relativ hohe Impedanz an dem Ausgangsport transformiert.

- 25 Im folgenden seien einige vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung kurz dargestellt:

- Die die Verstärkungseinrichtung beinhaltet einen Ausgangs- transistor, der vorzugsweise ein Feldeffekttransistor (FET)
30 ist und eine von dem anliegenden Signal beaufschlagbare Eingangselektrode (Gate) eine mit der Kopplungs- und Trans- formationseinrichtung verbundene Ausgangselektrode (Drain) sowie eine gemeinsame Elektrode (Source) besitzt, die mit einem Bezugspotential verbunden ist, wobei die zwischen der
35 Ausgangselektrode und der gemeinsamen Elektrode vorhandene Impedanz die Ausgangsimpedanz der Verstärkungseinrichtung darstellt.

Die Ausgangselektrode ist über die Kopplungs- und Transformationseinrichtung, die ein Netzwerk und eine Übertragungsleitung beinhalten, mit dem Ausgangsport und über das Netzwerk mit der Schalteinrichtung zum Anlegen und Abtrennen
5 der schaltbaren Spannung verbunden.

Die Kopplungs- und Transformationseinrichtung ist vorteilhafterweise so ausgebildet, daß sie zwischen der Ausgangselektrode und dem Ausgangsport eine vorbestimmte Phasenverschiebung erzeugt, die im wesentlichen einem ungeradzahli-
10 gen Vielfachen eines Viertels der vorbestimmten Wellenlänge entspricht.

Die Erfindung sieht somit eine Sende-/Empfangseinrichtung
15 vor, die in der ersten Betriebsart eine Kopplung des verstärkten Signals an den Ausgangsport und in der zweiten Betriebsart eine elektrische Abkopplung der Verstärkerschaltung (Verstärkungseinrichtung, Netzwerk und Übertragungsleitung von dem Ausgangsport bewirkt.

20 Da die Sende-/Empfangseinrichtung gemäß der Erfindung die Verstärkungseinrichtung sowohl als Verstärkungs- wie auch als Schaltvorrichtung verwendet, sind zusätzliche Schaltvorrichtungen, z.B. Feldeffekttransistoren, die während der
25 ersten Betriebsart in ihrem pinch-off-Zustand gehalten werden müssen, von dem Ausgang der Verstärkungseinrichtung eliminiert. Dadurch kann die Leistung des von der Verstärkungseinrichtung verstärkten Signals größer werden. Zudem werden die Einfügungsverluste der Schaltung reduziert.

30 Ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel der Erfindung ist ein Transceiver mit einer Sende-/Empfangs-Schalteinrichtung, in welchem ein Signal über einen ersten Schaltkreis, der während einer ersten Betriebsart eine charakteristische Impedanz besitzt von einem ersten Port zu einem zweiten Port
35 gekoppelt wird, und in welchem ein Signal über einen zweiten Schaltkreis, der während einer zweiten Betriebsart eine

charakteristische Impedanz besitzt von dem zweiten Port zu dem ersten Port gekoppelt wird. Dabei sind der zweite Schaltkreis während der ersten Betriebsart und der erste Schaltkreis während der zweiten Betriebsart von dem ersten und dem zweiten Port im wesentlichen elektrisch entkoppelt. Die Sende-/Empfangseinrichtung gemäß der Erfindung ist hierbei in jedem der Schaltungskreise vorgesehen, so eine erste und eine zweite Verstärkungseinrichtung in dem ersten bzw. in dem zweiten Schaltkreis angeordnet sind, die die anliegenden Signale verstärken und bei Anliegen der Spannung mit einer relativ hohen Ausgangsimpedanz arbeiten und die keine Verstärkung der anliegenden Signale vornehmen, wenn die Spannung von ihnen abgetrennt wird, eine auf ein erstes Steuersignal ansprechende Schalteinrichtung, mittels derer die Spannung während der ersten Betriebsart an die erste Verstärkungseinrichtung anlegbar und während der zweiten Betriebsart von ihr abtrennbar ist, wobei die relativ hohe Ausgangsimpedanz der ersten Verstärkungseinrichtung in eine relativ niedrige Ausgangsimpedanz umgeschaltet wird, eine auf ein zweites Steuersignal ansprechende Schalteinrichtung, mittels derer die Spannung während der zweiten Betriebsart an die zweite Verstärkungseinrichtung anlegbar und während der ersten Betriebsart von ihr abtrennbar ist, wobei die relativ hohe Ausgangsimpedanz der zweiten Verstärkungseinrichtung in eine relativ niedrige Ausgangsimpedanz umgeschaltet wird, eine erste Kopplungs- und Transformationseinrichtung, die das verstärkte Signal während der ersten Betriebsart von der ersten Verstärkungseinrichtung zu dem zweiten Port überträgt und während der zweiten Betriebsart die relativ niedrige Ausgangsimpedanz der ersten Verstärkungseinrichtung an dem zweiten Port in eine Impedanz transformiert, die wesentlich höher als die charakteristische Impedanz des zweiten Schaltkreises, sowie eine zweite Kopplungs- und Transformationseinrichtung, die das verstärkte Signal während der zweiten Betriebsart von der zweiten Verstärkungseinrichtung zu dem ersten Port überträgt und während der ersten Betriebsart die relativ niedri-

ge Ausgangsimpedanz der zweiten Verstärkungseinrichtung an dem ersten Port in eine Impedanz transformiert, die wesentlich höher als die charakteristische Impedanz des ersten Schaltkreises.

5

Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel der Erfindung ist ein Mikrowellen-Transceiver mit einem Sende-/Empfangs-Schalter gemäß der Erfindung, der sich durch folgende Merkmale auszeichnet: Eine Senderschaltung mit einem Sendeverstärker, mit einer ersten Übertragungsleitung mit einem Wellenwiderstand, die zwischen einem ersten Port und einem Eingang des Sendeverstärkers liegt, sowie mit einer zweiten Übertragungsleitung, die zwischen einem Ausgang des Sendeverstärkers und einem zweiten Port liegt. Die Sendeschaltung koppelt ein anliegendes Mikrowellensignal während der Betriebsart "Senden" von dem ersten Port zu dem zweiten Port durch. Die Empfängerschaltung des Transceivers besitzt einen Empfangsverstärker mit einer dritten Übertragungsleitung mit einem Wellenwiderstand, die zwischen dem zweiten Port und einem Eingang des Empfangsverstärkers liegt, sowie mit einer vierten Übertragungsleitung, die zwischen einem Ausgang des Empfangsverstärkers und einem ersten Port liegt. Die Empfängerschaltung koppelt ein anliegendes Mikrowellensignal während der Betriebsart "Empfang" von dem zweiten Port zu dem ersten Port durch. Ferner ist vorgesehen eine auf Steuersignale ansprechende Schalteinrichtung zum Anlegen von Spannung an den Sendeverstärker und Abtrennen der Spannung von dem Empfangsverstärker während der Betriebsart "Senden" und zum Abtrennen von Spannung von dem Sendeverstärker und Anlegen der Spannung an den Empfangsverstärker während der Betriebsart "Empfang". Derjenige Verstärker, an welchem Spannung anliegt, verstärkt ein an seinem Eingang anliegendes Mikrowellensignal, liefert an einem Ausgang ein verstärktes Mikrowellensignal arbeitet und mit einer relativ hohen Ausgangsimpedanz während derjenige Verstärker, von dem die Spannung abgetrennt ist, ein an seinem Eingang anliegendes Mikrowellensignal nicht ver-

stärkt und mit einer relativ niedrigen Ausgangsimpedanz arbeitet. Außerdem besitzt der Mikrowellentransceiver dieses Ausführungsbeispiels eine erste, die zweite Übertragungsleitung beinhaltende Kopplungs- und Transformationseinrichtung, die das verstärkte Mikrowellensignal während der Betriebsart "Senden" von dem Ausgang des Sendeverstärkers zu dem zweiten Port überträgt und während der Betriebsart "Empfang" die relativ niedrige Ausgangsimpedanz des Sendeverstärkers an dem zweiten Port in eine Impedanz transformiert, die wesentlich größer ist als der Wellenwiderstand der dritten Übertragungsleitung. Daneben ist eine zweite, die vierte Übertragungsleitung beinhaltende Kopplungs- und Transformationseinrichtung vorgesehen, die das verstärkte Mikrowellensignal während der Betriebsart "Empfang" von dem Ausgang des Empfangsverstärkers zu dem ersten Port überträgt und während der Betriebsart "Senden" die relativ niedrige Ausgangsimpedanz des Empfangsverstärkers an dem ersten Port in eine Impedanz transformiert, die wesentlich größer ist als der Wellenwiderstand der ersten Übertragungsleitung.

Andere vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung sind in Unteransprüchen beschrieben, auf die hier lediglich verwiesen wird.

3522564

Im folgenden sei die Erfindung anhand der Zeichnungen näher erläutert:

- Fig. 1 zeigt ein Blockschaltbild eines Radarsystems mit einer phasengesteuerten Antenne, in der die Erfindung Anwendung findet,
- Fig. 2 zeigt ein kombiniertes Block- und Schema-schaltbild eines der in dem System nach Figur 1 verwendeten Transceiver mit einem Sende-/Empfangs-Schalter gemäß der Erfindung,
- Fig. 3 zeigt die Sendeschaltung des Transceivers gemäß Figur 2 und veranschaulicht den Sende-/Empfangs-Schalter gemäß der Erfindung,
- Fig. 4 zeigt eine andere Ausführungsform der Sendeschaltung nach Figur 3.

In Figur 1 ist eine phasengesteuerte Antenne 10 über ein Speisernetzwerk 11 mit einem Radarsystem 12 gekoppelt. Die phasengesteuerte Antenne 10 beinhaltet eine Mehrzahl (im vorliegenden Fall n) von Transceivern 16a bis 16n, die jeweils mit einem Ausgang mit einem aus einer entsprechenden Vielzahl von Antennenelementen 18a bis 18n über Mikrowellen-Übertragungsleitungen 22a bis 22n verbunden sind. Die genannten Übertragungsleitungen haben im vorliegenden Fall einen Wellenwiderstand von 50 Ohm. Die Eingänge der Transceiver 16a bis 16n sind über entsprechende Übertragungsleitungen 24a bis 24n mit Ports 23a bis 23n von reziproken Phasenschiebern 20a bis 20n verbunden. Der Wellenwiderstand der Übertragungsleitungen 24a bis 24n beträgt im vorliegenden Fall 50 Ohm. Das Speisernetzwerk 14 besteht aus einem Netz von Mikrowellen-Übertragungsleitungen mit einem vorbestimmten Wellenwiderstand (im vorliegenden Fall 50 Ohm) und verbindet das Radarsystem 12 mit Ports 19a bis 19n der entsprechenden reziproken Phasenschieber 20a bis 20n. Das Radarsystem 12 liefert ferner auf Leitungen 13a bis 13n Steuer-

3522564

signale zu den Phasenschiebern 20a bis 20n, mit denen der Grad der Phasenverschiebung der einzelnen Phasenschieber gesteuert wird. Komplementäre Signale, die an Leitungen 17a bis 17n und an den Leitungen $\overline{17a}$ bis $\overline{17n}$ anliegen, dienen zur Steuerung der Transceiver 16a bis 16n. Die Art dieser Steuerung wird weiter unten näher erläutert. Die phasengesteuerte Antenne 10 liefert jeweils Signalteile eines Mikrowellen-Radarsignals, das von dem Radarsystem 12 erzeugt und von den Transceivern 16a bis 16n verstärkt wird, an die einzelnen Antennenelemente 18a bis 18n. Die Signalanteile haben eine vorbestimmte Phasenbeziehung, die durch die entsprechende Phasenverschiebung der zugeordneten reziproken Phasenschieber 20a bis 20n bestimmt wird. Aufgrund dieser Phasenbeziehung entsteht ein kollimierter und gerichteter Energiestrahle, der zu einem (nicht dargestellten) Ziel übertragen werden kann. Die Mikrowellenreflexionen des Ziels werden von den Antennenelementen 18a bis 18n empfangen, in den Transceivern 16a bis 16n verstärkt, in den Phasenschiebern 20a bis 20n phasenverschoben und als ein zusammengesetztes Mikrowellensignal über das Speisernetzwerk 14 dem Radarsystem 12 zur Verarbeitung zugeführt.

In Figur 2 ist ein repräsentatives Exemplar der Transceiver 16a bis 16n als Blockschaltbild dargestellt. Dieser Transceiver, der mit 16i bezeichnet ist, umfaßt einen Sendekanal 26 und einen Empfangskanal 28, die parallel zwischen zwei Eingangs-/Ausgangs-Ports (Phasenschieber-Port 30 und Antennen-Port 32) geschaltet sind. Eine Übertragungsleitung 24i, die im vorliegenden Fall einen Wellenwiderstand von 50 Ohm hat, verbindet den reziproken Phasenschieber 20i mit dem Phasenschieber-Port 30 (Figur 1). Der Antennen-Port 32 ist über die Übertragungsleitung 22i, die ebenfalls einen Wellenwiderstand von 50 Ohm besitzt, mit dem Antennenelement 18i (Figur 1) verbunden. Der Sendekanal 26 beinhaltet einen Sendeverstärker 34 mit einem Leistungsverstärker 36, der im vorliegenden Fall aus einem einstufigen Feldeffekttransistor-Verstärker besteht. Er besitzt eine Gate-Elektrode 36g, eine Drain-

3522564

23

Elektrode 36d und eine Source-Elektrode 36s. Je nach der erforderlichen Verstärkung und Ausgangsleistung kann der Sendeverstärker 34 auch als mehrstufiger Verstärker aufgebaut sein. In diesem Fall bildet der Feldeffekttransistor FET 36 die Endstufe des mehrstufigen Verstärkers. Die Source-Elektrode 36s ist auf Null Volt Gleichspannung geerdet. Der Sendeverstärker 34 beinhaltet ferner eine Eingangs-Anpassungsschaltung 38, die zwischen den Sendeverstärker-Eingangsport 40 und der Gate-Elektrode 36g angeordnet ist, sowie eine Ausgangs-Anpassungsschaltung 40, die zwischen der Drain-Elektrode 36d und dem Ausgangsport 44 des Sendeverstärkers angeordnet ist. Die Wirkungsweise der Eingangs- und Ausgangs-Anpassungsschaltungen 38 und 40 in dem Sendeverstärker 34 wird weiter unten im einzelnen beschrieben. Hier genügt es zunächst, darauf hinzuweisen, daß die Eingangs-Anpassungsschaltung 38 der Gate-Elektrode 36g eine Impedanz anbietet, die näherungsweise an die Impedanz der Gate-Elektrode 36g angepaßt ist. Die von der Ausgangs-Anpassungsschaltung 40 der Drain-Elektrode 36d angebotene Impedanz ist so gewählt, daß sie für den Feldeffekttransistor 36 eine Belastung darstellt, bei welcher die Anordnung mit hoher Effizienz arbeitet und maximale Ausgangsleistung liefert. Die Anpassungsschaltungen 38 und 40 transformieren ferner die genannten Anpassungsimpedanzen auf den Wellenwiderstand der mit dem Sendeverstärker 34 verbundenen Übertragungsleitungen 46 bzw. 48. Der Wellenwiderstand der Übertragungsleitung 46 liegt im vorliegenden Fall bei etwa 50 Ohm. Die Übertragungsleitung 46 ist mit ihrem ersten Ende 46a mit dem Phasenschieber-Port 30 verbunden. Das zweite Ende 46b ist mit dem Eingangsport 42 des Sendeverstärkers verbunden. Der Ausgangsport 44 des Sendeverstärkers ist mit dem ersten Ende 48a der Übertragungsleitung 48 verbunden, deren zweites Ende 48b mit dem Antennenport 32 verbunden ist. Der Wellenwiderstand der Übertragungsleitung 48 beträgt im vorliegenden Fall ebenfalls etwa 50 Ohm.

Der Empfängerkanal 28 beinhaltet den Empfangsverstärker 50,

der einen rauscharmen Verstärker 52 umfaßt. Letzterer ist als einstufiger Feldeffekttransistor-Verstärker mit einer Gate-Elektrode 52g, einer Drain-Elektrode 52d und einer Source-Elektrode 52s dargestellt. Erforderlichenfalls kann auch hier ein mehrstufiger Verstärker verwendet werden. In diesem Fall bildet der Feldeffekttransistor 52 die Endstufe des mehrstufigen Verstärkers. Der Empfangsverstärker 50 beinhaltet ferner eine Eingangs-Anpassungsschaltung 54, die zwischen dem Empfangsverstärker-Eingangsport 58 und der Gate-Elektrode 52g angeordnet ist. Die Source-Elektrode 52s ist geerdet (d. h. mit Null Volt Gleichspannung verbunden). Eine Ausgangs-Anpassungsschaltung 56 ist zwischen der Drain-Elektrode 52d und dem Ausgangs-port 60 des Empfangsverstärkers angeordnet. Die Eingangs- und Ausgangs-Anpassungsschaltungen 54 und 56 des Empfangsverstärkers arbeiten in ähnlicher Weise wie die Eingangs- und Ausgangs-Anpassungsschaltungen 38 bzw. 40 des Sendeverstärkers. Die Eingangs-Anpassungsschaltung 54 bietet der Gate-Elektrode 52g eine Impedanz, die so bemessen ist, daß der Betrieb des Verstärkers 50 bei Anwesenheit von Rauschen (d. h. die Rauschzahl des Verstärkers 50) optimiert wird. Somit ist diese Impedanz nicht notwendigerweise an die Impedanz der Gate-Elektrode 52g angepaßt. Die Ausgangs-Anpassungsschaltung 56 bietet der Drain-Elektrode 52d eine Impedanz, die so bemessen ist, daß sie für den Feldeffekttransistor 52 eine Last darstellt, bei der die Anordnung mit hoher Effizienz und maximaler Verstärkung arbeitet. Die Anpassungsschaltungen 54 und 56 bewirken ferner eine Transformation der angepaßten Impedanzen an die Wellenwiderstände der mit dem Empfangsverstärker 50 verbundenen Übertragungsleitungen 62 bzw. 64. Die Übertragungsleitung 62 besitzt im vorliegenden Fall einen Wellenwiderstand von etwa 50 Ohm. Ihr erstes Ende 62a ist mit dem Antennenport 32 verbunden, während ihr zweites Ende 62b mit dem Eingangs-port 58 des Empfangsverstärkers in Verbindung steht. Der Ausgangs-port 60 des Empfangsverstärkers ist mit dem ersten Ende 64a der Übertragungsleitung 64 verbunden, deren zweites Ende 64b mit dem Phasenschieber-Port 30 in Verbindung steht. Der

3522564

25

Wellenwiderstand der Übertragungsleitung 64 ist im vorliegenden Fall etwa 50 Ohm.

Der Transceiver 16i beinhaltet ferner ein Paar Schalt-Feldeffekttransistoren 66 und 68, die dem Sendeverstärker 34 bzw. dem Empfangsverstärker 50 zugeordnet sind. Die Funktion der Schalt-Feldeffektverstärker 66 und 68 wird im einzelnen weiter unten erläutert. Hier genügt der Hinweis, daß die Schalt-Feldeffektverstärker 66 und 68 der Sende-/Empfangs-Schaltanordnung zugeordnet sind, in der jeweils ein ausgewähltes Exemplar der Sende- oder Empfangskanäle 26 und 28 von dem Phasenschieber-Port 30 und dem Antennen-Port 32 entkoppelt sind, während der jeweils andere Kanal in Betrieb ist. Zu diesem Zweck sind die Schalt-Feldeffekttransistoren 66 und 68 jeweils zwischen den Eingangsports 42 bzw. 58 der Sende- bzw. Empfangsverstärker 34 bzw. 50 und Erde eingefügt. Somit ist die Drain-Elektrode 66d des Schalt-Feldeffekttransistors 66 mit dem zweiten Ende 46b der Übertragungsleitung 46 an dem Eingangsport 42 des Sendeverstärkers verbunden, während die Source-Elektrode 66s mit Erde (Null Volt Gleichspannung) und die Gate-Elektrode 66g über die Leitung 74 mit einer Vorspannungs-Steuereinheit 70 verbunden sind. In ähnlicher Weise ist die Drain-Elektrode 68d des Schalt-Feldeffekttransistors 68 mit dem zweiten Ende 62b der Übertragungsleitung 62 an dem Eingangsport 58 des Empfangsverstärkers verbunden, während die Source-Elektrode 68s geerdet ist (Null Volt Gleichspannung) und die Gate-Elektrode 68g über die Leitung 76 mit der Vorspannungs-Steuereinheit 72 verbunden ist. Die Funktion der Vorspannungs-Steuereinheiten 70 und 72 wird im einzelnen weiter unten erläutert. Es sei jedoch kurz erwähnt, daß die Vorspannungs-Steuereinheit 70 auf ein Sende-Steuersignal auf der Leitung 17i anspricht und auf den Leitungen 78, 80 eine schaltbare Vorspannung (Gleichspannung) über die Eingang-Anpassungsschaltung 38 bzw. die Ausgangs-Anpassungsschaltung 40 zu dem Leistungs-Feldeffekttransistor 36 überträgt. Die Vorspannungs-Steuereinheit 70 spricht ferner auf

das Sende-Steuersignal auf der Leitung 17i an und liefert ein Steuersignal an die Leitung 74, durch welches der Schalt-Feldeffekttransistor 66 zwischen seinem leitenden und seinem nichtleitenden Zustand umschaltbar ist. In ähnlicher Weise liefert die Vorspannungs-Steuereinheit 72 in Abhängigkeit von auf der Leitung $\overline{17i}$ anstehenden Empfangs-Steuersignal an die Leitungen 82 und 84 eine schaltbare Vorspannung für den rauscharmen Feldeffekttransistor 52, der diesem über die Eingangs-Anpassungsschaltung 54 bzw. die Ausgangs-Anpassungsschaltung 56 zugeführt wird. Die Vorspannungs-Steuereinheit 72 erzeugt ferner ein Steuersignal auf der Leitung 76, durch das der Feldeffekttransistor 68 in Abhängigkeit von dem Empfangs-Steuersignal auf der Leitung $\overline{17i}$ zwischen seinem leitenden und seinem nichtleitenden Zustand umschaltbar ist.

Während der Betriebsart "senden" erzeugt das Radarsystem 12 (Figur 1) ein Mikrowellensignal mit einer vorbestimmten Nennfrequenz f_c (und der Wellenlänge λ_c), das ausgestrahlt werden soll. Ein Teil dieses Mikrowellensignals wird dem Port 19i des reziproken Phasenschiebers 20i über das Speisernetzwerk 14 zugeführt. Der reziproke Phasenschieber 20i ändert die Phase des ihm zugeführten Mikrowellensignals um einen vorbestimmten Betrag, der durch ein Phasensteuersignal gesteuert wird, das von dem Radarsystem 12 erzeugt und über die Leitung 13i dem Steuereingang 21i des Phasenschiebers 20i zugeführt wird. Der Sendekanal 26 in dem Transceiver 16i koppelt das phasenverschobene Ausgangssignal des reziproken Phasenschiebers 20i, das an dem Port 23i zur Verfügung steht, zu dem Antennenelement 18i in Abhängigkeit von den komplementären Steuersignalen auf den Leitungen 17i, $\overline{17i}$. Das auszusendende Mikrowellensignal wird über die Übertragungsleitung 46 zu dem Sendeverstärker 34 übertragen. Das verstärkte Mikrowellen-Ausgangssignal des Sendeverstärkers 34 wird über die Übertragungsleitung 48 zu dem Antennenport 32 geführt und von dort aus über die Übertragungsleitung 22i zu dem Antennenelement 18i, von wo aus es zu dem Ziel gesendet wird.

3522564

In der Betriebsart "Empfang" werden die von dem Ziel reflektierten Mikrowellensignale, deren Frequenz im wesentlichen der Nennfrequenz f_c entsprechen und die aufgrund der Geschwindigkeit des Zieles eine Dopplerverschiebung erfahren haben, von dem Antennenelement 18i empfangen. Diese empfangenen Signale werden über den Empfangskanal 28 in dem Receiver 16i in Abhängigkeit von den komplementären Steuersignalen auf den Leitungen 17i, 17i zu den reziproken Phasenschieber 20i geführt. Das empfangene Mikrowellensignal wird über die Übertragungsleitung 62 dem Empfangsverstärker 50 zugeführt. Die Übertragungsleitung 64 führt das verstärkte Mikrowellen-Ausgangssignal des Empfangsverstärkers 50 zu dem Phasenschieberport 30, von wo es über die Übertragungsleitung 24i zu dem Phasenschieber 20i geführt wird. Der Phasenschieber 20i schiebt die Phase des anliegenden Mikrowellensignals in Abhängigkeit von einem Phasensteuersignal, das von dem Radarsystem 12 über die Leitung 13i herangeführt wird. Das phasenverschobene Mikrowellensignal des Phasenschiebers 20i wird über das Speisenetzwerk 14 dem Radarsystem 12 zugeführt. So führt jeder der einzelnen Transceiver-Modul 16a bis 16n (Figur 1) dem Radarsystem 12 über das Speisenetzwerk 14 einen Signalanteil eines Mikrowellensignals zu und die Mehrzahl der Antennenelemente 18a bis 18n erzeugen während der Betriebsart "senden" parallele und gerichtete Mikrowellenstrahlen aus einer einzigen Mikrowellenquelle, während sie in der Betriebsart "Empfang" die Zielreflexionen dieser Strahlen empfangen und dem Radarsystem 12 ein einziges zusammengesetztes Mikrowellensignal zuführen.

Nunmehr sei auf Figur 3 Bezug genommen. Diese zeigt eine detaillierte Schaltung des Sendekanals 26 in dem Transceiver 16i. Die Übertragungsleitung 46 ist, wie erwähnt, mit ihrem ersten Ende 46a mit dem Phasenschieberport 30 und mit ihrem zweiten Ende 46b mit dem Eingangsport 42 des Sendeverstärkers 34 verbunden. Der Eingangsport 42 ist mit der Gate-Elektrode 36g des Leistungs-Feldeffekttransistors 36 über die Eingangsanpassungsschaltung 38 verbunden. Letztere beinhaltet einen

Abschnitt einer Mikrowellen-Übertragungsleitung 86, deren erstes Ende 86a über einen Gleichspannungs-Blockkondensator 88 mit dem Eingangsport 42, und dessen zweites Ende 46b mit der Gate-Elektrode 36g sowie mit dem ersten Ende einer Abstimminduktivität 92 verbunden ist. Das zweite Ende der Abstimminduktivität 92 ist über einen Kondensator 94 mit Erde verbunden. Ein Abstimmkondensator 90 liegt zwischen dem Verbindungspunkt 91 des Blockkondensators 88 mit der Übertragungsleitung 86 und Erde. Die Source-Elektrode 36s des Leistungs-Feldeffekttransistors 36 ist jedenfalls mit Erde verbunden. Die Drain-Elektrode 36d ist über die Ausgangs-Anpassungsschaltung 40, die ähnlich aufgebaut ist wie die Anpassungsschaltung 38, mit dem Ausgangs-port 44 des Sendeverstärkers verbunden. Ein Abschnitt einer Mikrowellenleitung 96 ist mit ihrem einen Ende 96a mit der Drain-Elektrode 36d und einer Abstimminduktivität 98 verbunden, die in Reihe mit einem Kondensator 100 an Erde gelegt ist. Das zweite Ende 96b der Mikrowellen-Übertragungsleitung 96 ist mit einem Gleichspannungs-Blockkondensator 102 und dem ersten Anschluß eines Abstimmkondensators 104 verbunden. Der Verbindungspunkt ist mit 105 bezeichnet. Der zweite Anschluß des Abstimmkondensators 104 ist mit Erde verbunden. Der Blockkondensator 102 ist in Reihe mit der Übertragungsleitung 96 an den Ausgangs-port 44 des Sendeverstärkers angeschlossen. Die Übertragungsleitung 48 verbindet den Ausgangs-port 44 mit dem Antennenport 32.

Die Vorspannung für den Feldeffekttransistor 36 wird von der Vorspannungs-Steuereinheit 70 geliefert, die drei Gleichspannungsversorgungen 71a, 71b und 71c enthält, deren Ausgänge mit einer Schalteinheit 73 verbunden sind. Die Schalteinheit 73 ist eine herkömmliche Gleichspannungs-Schaltanordnung, beispielsweise ein Transistor-Schaltkreis, und ist in der Zeichnung als ein Satz von einpoligen Umschaltern 75a, 75b, 75c dargestellt. Die normalerweise geschlossene Anschlußklemme (NC) jedes Umschalters 75a, 75b, 75c ist mit dem Ausgang einer der Stromversorgungen 71a, 71b bzw. 71c verbunden. Die

3522564

normalerweise geöffnete Anschlußklemme (NO) jedes Umschalters ist mit Erde verbunden. Die Position der einzelnen Umschalter wird durch ein Sende-Steuersignal gesteuert, das der Schalteinheit 73 in der weiter unten beschriebenen Weise auf der Leitung 17i zugeführt wird. Der gemeinsame Anschluß (C) des Umschalters 75b ist über die Leitung 78 mit dem Verbindungspunkt 93 zwischen der Abstimminduktivität 92 und dem Kondensator 94 in der Eingangs-Anpassungsschaltung 38 verbunden. Die Leitung 80 verbindet den gemeinsamen Anschluß (C) des Umschalters 75c mit dem Verbindungspunkt 99 zwischen der Abstimminduktivität 89 und dem Kondensator 100 in der Ausgangs-Anpassungsschaltung 40. Wenn ein auf der Leitung 17i erscheinendes Sende-Steuersignal die Umschalter in der Schalteinheit 73 in der normalen geschlossenen Stellung hält, wird die Spannung der Versorgungsquelle 71b über die Leitung 78 und die Eingangs-Anpassungsschaltung 38 dem Leistungs-Feldeffekttransistor 36 zugeführt. Die Abstimminduktivität 92 bildet für die Gleichspannung einen Kurzschluß und koppelt die Vorspannung zu dem Gate-Elektrode 36g. Außerdem verhindert der Blockkondensator 88, daß die Vorspannung aus dem Sendeverstärker 34 auf die Mikrowellen-Übertragungsleitung 46 gelangt. In ähnlicher Weise verbindet der Umschalter 75c in seiner normalen geschlossenen Position die Spannung der Versorgungsquelle 71c über die Leitung 80 und die Ausgangs-Anpassungsschaltung 40 mit der Drain-Elektrode 36d. Die Abstimminduktivität 98 bildet für die Gleichspannung einen Kurzschluß und verbindet die Vorspannung mit der Drain-Elektrode 36d, während der Blockkondensator 102 die Mikrowellen-Übertragungsleitung 48 von der Gleichspannung trennt. Wenn das Sende-Steuersignal auf der Leitung 17i die Umschalter 75a, 75b und 75c in die normale geöffnete Stellung führt, sind die Versorgungsquellen 71b und 71c von der Gate- und der Drain-Elektrode 36g bzw. 36d abgetrennt. Letztere sind dann über die genannten Schalter mit Erdpotential (Null Volt Gleichspannung) verbunden.

Der gemeinsame Anschluß (C) des Umschalters 75a ist über die Leitung 74 mit der Gate-Elektrode des Schalt-Feldeffekttransistors 66 verbunden. Wenn das Sende-Steuersignal auf der Leitung 17i den Umschalter 75a in der normal geöffneten Stellung hält, ist die Versorgungsquelle 71a über die Leitung 74 mit der Gate-Elektrode 66g verbunden, so daß der Feldeffekttransistor 66 in der weiter unten beschriebenen Weise in den nichtleitenden Zustand gesteuert ist. Falls der Umschalter 75a durch das Sende-Steuersignal auf der Leitung 17i in die normal geöffnete Stellung geführt wird, wird die Gate-Elektrode 66g über ihn mit dem Erdpotential (Null Volt Gleichspannung) verbunden, wodurch der Feldeffekttransistor 66 in seinen leitenden Zustand gesteuert wird.

Es sei noch einmal auf Figur 2 Bezug genommen: Der Transceiver-Modul 16i hat, wie erwähnt, zwei Betriebsarten, nämlich die Betriebsart "senden", bei der der Sendekanal 26 benutzt wird, und die Betriebsart "Empfang", bei der der Empfangskanal 28 benutzt wird. Da dem Sendekanal 26 und dem Empfangskanal 28 ein einziges Paar von Eingangs-/Ausgangsports (d. h. der Port 30 des Phasenschiebers und der Antennenport 32) gemeinsam zugeordnet sind, muß eine Sende-/Empfangs-Umschaltung stattfinden. D. h. der jeweils in einer Betriebsart des Transceivers nicht benutzte Kanal muß elektrisch von dem Phasenschieber- und dem Antennenport 30 bzw. 32 entkoppelt sein, um zu verhindern, daß das Mikrowellensignal in den unbenutzten Kanal eindringt, dabei die Leistungseffizienz beeinträchtigt und unerwünschte Mikrowellenreflexionen in dem jeweils benutzten Kanal hervorruft. Gemäß der Erfindung wird jeder der Kanäle 26 und 28, der während einer bestimmten Betriebsart des Transceivers nicht benutzt wird, von dem Phasenschieber- und dem Antennenport 30 bzw. 32 elektrisch entkoppelt. Dies geschieht auf einen Steuerbefehl des Radarsystems 12, das für jeden Transceiver 16a bis 16n ein Paar komplementärer Sende- und Empfangs-Steuersignale erzeugt. Die Sende-Steuersignale werden über die Leitungen 17a bis 17n

3522564

und die Empfangs-Steuersignale über die Leitungen $\overline{17a}$ bis $\overline{17n}$ zu den entsprechenden Transceivern 16a bis 16n geführt. Die Sende-Steuersignale auf den Leitungen 17a bis 17n sind den Sendekanälen und den Transceivern 16a bis 16n zugeordnet, während die Empfangs-Steuersignale auf den Leitungen $\overline{17a}$ bis $\overline{17n}$ den jeweiligen Empfangskanälen zugeordnet sind. Beispielsweise ist in dem Transceiver 16i die Leitung 17i dem Sendekanal 26 zugeordnet, während die Leitung $\overline{17i}$ dem Empfangskanal 28 zugeordnet ist. In dem bevorzugten Ausführungsbeispiel sind die Sende- und Empfangs-Steuersignale logische Signale, d. h. diese Signale haben nur zwei Zustände, nämlich eine logische "1" und eine logische "0". Aus der Tatsache, daß die Steuersignale jedes Paares komplementär sind, folgt, daß dann, wenn die Sende-Steuersignale auf den Leitungen 17a bis 17n den logischen Zustand "1" haben, die Empfangs-Steuersignale auf den Leitungen $\overline{17a}$ bis $\overline{17n}$ einer logischen "0" entsprechen und umgekehrt. Der logische Zustand der Paare von Steuersignale entspricht der Betriebsart des Radarsystems 12 und damit der Betriebsart der Transceiver 16a bis 16n. Eine logische "0" wird auf diejenigen Leitungen gegeben, die einem Kanal zugeordnet sind, der während einer bestimmten Betriebsart in Benutzung ist. Eine logische "1" wird für diejenigen Leitungen erzeugt, die den unbenutzten Kanälen zugeordnet sind. In der Betriebsart "senden" werden also die Sende-Steuersignale auf den Leitungen 17a bis 17n von dem Radarsystem 12 auf eine logische "0" und die Empfangs-Steuersignale auf den Leitungen $\overline{17a}$ bis $\overline{17n}$ auf eine logische "1" gesetzt. In jedem der Transceiver 16a bis 16n ist jeweils der während einer bestimmten Betriebsart (senden oder Empfang) des Transceivers nicht verwendete Kanal, den als Steuersignal eine logische "1" zugeführt wird, elektrisch von dem Phasenschieber- und dem Antennenport 30 bzw. 32 in der weiter unten beschriebenen Weise entkoppelt, während derjenige Mikrowellenkanal, der bei dieser Betriebsart des Transceivers verwendet und dementsprechend mit einem Steuersignal in Form einer logischen "0" beaufschlagt ist, das ihm zugeführte Mikrowellensignal über den Transceiver durchkoppelt, ohne daß irgendwel-

3522564

che Belastungswirkung durch den nicht verwendeten Mikrowellenkanal auftritt. Die detaillierte Verstärkungs- und Schaltfunktion jedes Mikrowellenkanals läßt sich am besten anhand von Figur 3 erläutern, die, wie erwähnt, die Schaltung des Sendekanals 26 des Transceivers 16i darstellt. Während der Betriebsart "senden" ist das der Schalteinheit 73 über die Leitung 17i zugeführte Sende-Steuersignal eine logische "0". Als Antwort auf dieses Signal hält die Schalteinheit 73 die Umschalter 75a, 75b und 75c in der normalen geschlossenen Position, so daß die Ausgänge der Versorgungsquellen 71a, 71b und 71c der Vorspannungs-Steuereinheit 70 auf die Leitungen 74, 78 bzw. 80 gegeben werden. So wird das Ausgangssignal der Versorgungsquelle 71a der Gate-Elektrode 66g des Schalt-Feldeffekttransistors 66 zugeführt. In dem dargestellten Ausführungsbeispiel ist der Schalt-Feldeffekttransistor 66 ein n-Kanal-Metall-Halbleiterfeldeffekttransistor vom Verarmungstyp (MESFET). Die Versorgungswelle 71a liefert eine negative Spannung, die groß genug ist, um den leitenden Kanal zwischen der Drain-Elektrode 66d und der Source-Elektrode 66s "einzuschnüren" (pinch-off). Ein typischer Wert für die pinch-off-Spannung eines n-Kanal-MESFET ist -5 Volt. Durch das pinch-off wird der Feldeffekttransistor 66 in seinen nichtleitenden Zustand versetzt, so daß zwischen der Drain-Elektrode 66d und der Source-Elektrode 66s und damit zwischen dem zweiten Ende 46b der Übertragungsleitung 46 und Erde eine große Impedanz besteht. Während des Sendens gelangt ein Mikrowellensignal von dem reziproken Phasenschieber 20i über die Übertragungsleitung 24i in den Sendekanal 26. Aus Gründen, die weiter unten erläutert werden, gelangt praktisch kein Anteil des Mikrowellensignals in den Empfangskanal 28 an den zweiten Enden 64b der Übertragungsleitung 64. So breitet sich im wesentlichen das gesamte Mikrowellensignal über die Übertragungsleitung 46 zu dem zweiten Ende 46b am Eingangsport 42 des Sendeverstärkers aus. Infolge des pinch-off-Effekts bildet der Feldeffekttransistor 66 eine hohe Impedanz zwischen dem zweiten Ende 46b und Erde und stellt damit, falls über-

haupt, eine nur geringfügige Belastung für das auf der Übertragungsleitung 46 vorhandene Mikrowellensignal dar, so daß praktisch das gesamte Mikrowellensignal über den Eingangsport 42 in den Sendeverstärker 34 gelangt. Von dem Eingangsport 42 wird das Mikrowellensignal über die Eingangs-Anpassungsschaltung 48 zu der Gate-Elektrode 36g geführt. Die Schaltelemente der Eingangs-Anpassungsschaltung 38 sind so bemessen, daß bei der Nennfrequenz f_c des Mikrowellensignals eine Impedanztransformation von dem Wellenwiderstand der Übertragungsleitung 46 auf etwa die Eingangsimpedanz des Leistungs-Feldeffekttransistors 36 stattfindet. Mit anderen Worten, die Schaltelemente sind so bemessen, daß sie für die 50-Ohm-Übertragungsleitung 46 eine 50-Ohm-Anpassungsimpedanz bilden und diese Impedanz in eine von der Gate-Elektrode 36g aus gesehene Impedanz transformieren, die annähernd an die Eingangs-Impedanz des Leistungs-Feldeffekttransistors 36 angepaßt ist. Der größte Teil dieser Wirkung wird durch die Zusammenarbeit der Übertragungsleitung 86, der Abstimmkapazität 90, der Abstimminduktivität 92 und, in geringerem Maße, dem Blockkondensator 88 bewirkt. Der Kondensator 94 hält das Mikrowellensignal von der Leitung 78 fern und muß deshalb groß genug sein, um einen effektiven Kurzschluß für Mikrowellensignale zu bilden. Sein Wert muß jedoch in Rechnung gestellt werden, wenn die anderen Komponenten der Anpassungsschaltung bestimmt werden. Dem Leistungs-Feldeffekttransistor 36 ist eine parasitäre Reaktanz 37 zugeordnet, die in gestrichelten Linien dargestellt ist, um anzudeuten, daß diese Reaktanz kein diskretes Schaltelement, sondern eine Eigenschaft des Feldeffekttransistors 36 ist. Die Auswirkungen dieser parasitären Reaktanz müssen nichtsdestoweniger für die Nennfrequenz f_c der Mikrowelle minimiert werden. Daher ist der Induktivitätswert der Abstimminduktivität 92 so bemessen, daß sie die Wirkung der parasitären Reaktanz 37 bei Nennfrequenz f_c der Mikrowelle ausgleicht.

Im vorliegenden Ausführungsbeispiel ist der Leistungs-Feldeffekttransistor 36 ein n-Kanal-MESFET vom Verarmungstyp. Er

3522564

hat eine typische Verstärkung von 8 dB und eine Ausgangsleistung zwischen 5 und 10 Watt. Während der Betriebsart "senden" sind die Ausgänge der Versorgungsquellen 71b und 71c, wie erwähnt, mit der Gate- bzw. der Drain-Elektrode 36g bzw. 36d verbunden. Die Versorgungsquellen 71b und 71c sind so bemessen, daß sie den Leistungs-Feldeffekttransistor 36 in die Mitte seines aktiven Bereichs (oder den Nennbetrieb) vorspannen. Es gelten folgende typische Werte: Die Versorgungsquelle 71b spannt das Gate 36g auf etwa -2,5 Volt Gleichspannung vor, während die Versorgungsquelle 71c die Drain-Elektrode 36d auf etwa +10 Volt Gleichspannung vorspannt, wobei sich eine Mikrowellen-Ausgangsleistung von 10 Watt ergibt. Die Source-Elektrode 36s ist direkt mit Erde verbunden (Null Volt Gleichspannung). Der Leistungs-Feldeffekttransistor 36 ist also so vorgespannt, daß er aus dem an der Gate-Elektrode 36g anliegenden Mikrowellensignal ein verstärktes Mikrowellensignal an der Drain-Elektrode 36d erzeugt. Um maximale Ausgangsleistung und größtmöglichen Wirkungsgrad zu erreichen, ist die Drain-Elektrode 36d mit einer geeigneten Anpassungsimpedanz (z. B. einer Belastungsleitung) bei Nennfrequenz f_c belastet. Die Komponenten der Ausgangs-Anpassungsschaltung 40 sind so bemessen, daß sie bei Nennfrequenz f_c des verstärkten Mikrowellensignals für die Drain-Elektrode 36d eine Belastung darstellen, die annähernd der genannten Belastungsleitung entspricht. Die Ausgangs-Anpassungsschaltung 40 bewirkt ferner eine Transformation dieser Belastung auf eine von dem Ausgangsport 44 aus gesehene Impedanz, die an den Wellenwiderstand der Mikrowellen-Übertragungsleitung 48 (typisch 50 Ohm) angepaßt ist. Diese Impedanzanpassung und -transformation geschieht zum überwiegenden Teil durch das Zusammenwirken der Übertragungsleitung 96, der Abstimminduktivität 98, der Abstimmkapazität 104 und, zu einem geringeren Anteil, durch den Blockkondensator 102. Der Kondensator 100 verhindert, daß das Mikrowellensignal auf die Leitung 80 gekoppelt wird. Er muß daher groß genug sein, um für die Mikrowellenfrequenz einen wirksamen Kurzschluß zu bilden. Andererseits muß sein Wert bei der Bemessung der anderen Ele-

mente der Anpassungsschaltung in Rechnung gestellt werden. Dem Feldeffekttransistor 36 ist eine parasitäre Reaktanz zugeordnet, die in Figur 2 in gestrichelten Linien als Kondensator 39 dargestellt ist, um anzudeuten, daß es sich nicht um ein diskretes Schaltelement, sondern um eine inhärente Eigenschaft des Feldeffekttransistors 36 handelt. Die Wirkung dieser parasitären Reaktanz muß bei der Nennfrequenz f_c des Mikrowellensignals minimiert sein. Der Induktivitätswert der Abstimminduktivität 98 ist so gewählt, daß die Wirkungen der parasitären Reaktanz 39 bei Nennfrequenz f_c ausgeglichen werden.

Das dem Ausgangsport 44 zugeführte verstärkte Mikrowellensignal wird über die Übertragungsleitung 48 an den Antennenport 32 weitergegeben. Aus Gründen, die weiter unten erläutert werden, tritt dieses Mikrowellensignal an dem ersten Ende 62a der Übertragungsleitung 62 nicht in den Empfangskanal 28 ein, vielmehr wird praktisch das gesamte Mikrowellensignal auf die 50-Ohm-Übertragungsleitung 22i zu dem Antennenelement 18i (Figur 1) gekoppelt und zu einem Ziel gesendet.

Nach Ablauf einer vorbestimmten Zeit nach Aussendung schaltet das Radarsystem 12 von der Betriebsart "senden" in die Betriebsart "Empfang" um, um die Gelegenheit zu schaffen, daß das Radarsystem die empfangenen Anteile des ausgesendeten und von dem Ziel reflektierten Mikrowellensignals verarbeitet. Zur Erläuterung sei Figur 2 herangezogen: Der Anteil des reflektierten Mikrowellensignals, der von dem Antennenelement 18i empfangen und über die 50-Ohm-Übertragungsleitung 22i weitergegeben wird, erscheint an dem Antennenport 32. Im Interesse eines guten Empfangs sollte im wesentlichen das gesamte Mikrowellensignal über die Übertragungsleitung 62 in den Empfangskanal 28 geführt werden. Die Sende-/Empfangsschalteranordnung gemäß der Erfindung verhindert, daß das empfangene Mikrowellensignal über die Übertragungsleitung 48 in den Sendekanal 26 gelangt.

Wie oben erwähnt wurde, werden während der Betriebsart "Empfang" alle Sende-Steuersignale auf den Leitungen 17a bis 17n von dem Radarsystem 12 auf eine logische "1" und alle Empfangs-Steuersignale auf den Leitungen $\overline{17a}$ bis $\overline{17n}$ auf eine logische "0" geschaltet. So ist auch in dem dargestellten Transceiver 16i das Empfangs-Steuersignal auf der dem Empfangskanal 28 zugeordneten Leitung $\overline{17i}$ eine logische "0" und das Sende-Steuersignal auf der dem Sendekanal 26 zugeordneten Leitung 17i eine logische "1". Gemäß Figur 3 aktiviert die logische "1" auf der Leitung 17i die Schalteinheit 73 der Vorspannungs-Steuereinheit 70, so daß die Umschalter 75a, 75b und 75c aus der normalen geschlossenen Position (NC) in die normal geöffnete Position (NO) umgeschaltet werden. Dadurch wird Erdpotential (Null Volt Gleichspannung) an die Leitungen 74, 78 und 80 gelegt. Die geerdeten Leitungen 78 und 80 legen ihrerseits die Gate-Elektrode 36g und die Drain-Elektrode 36d des Leistungs-Feldeffekttransistors 36 über die Abstimminduktivitäten 92 bzw. 98 an Erde und trennen so den Feldeffekttransistor 36 von der Versorgung ab. Dadurch wird der Feldeffekttransistor 36, der dem Verarmungstyp angehört, in einen Vorspannungszustand geschaltet, bei dem seine Gate-Source-Spannung und seine Drain-Source-Spannung jeweils Null Volt betragen. Infolgedessen führt der Kanal zwischen der Drain- und der Source-Elektrode 36d bzw. 36s über seine gesamte Breite Strom. Die Impedanz zwischen der Drain-Elektrode 36d und der Source-Elektrode 36s ist mithin niedrig und stellt an der Drain-Elektrode 36d einen Mikrowellen- und einen Gleichspannungskurzschluß zur Erde dar. Die Gesamtlänge des Mikrowellensignalpfades zwischen der Drain-Elektrode 36d und dem Antennenport 32 ist eine ungeradzahlige Vielfache einer Viertelwellenlänge ($n\lambda_c/4$, $n=1, 3, 5 \dots$) der Nennwellenlänge (λ_c). Ein solcher Viertelwellenlängen-Mikrowellensignalpfad transformiert den geerdeten Kurzschluß an der Drain-Elektrode 36d in eine hohe Impedanz - praktisch Leerlauf - an dem Antennenport 32. Für das empfangene Mikrowellensignal, das über die 50-Ohm-Übertragungsleitung 32i (Figur 1) in den Transceiver 16i eintritt, stellt der Sendekanal 26 im Vergleich zum Wellenwi-

3522564

derstand der Übertragungsleitung 62, der typisch 50 Ohm beträgt, einen offenen Kreis dar. Somit ist der Sendekanal 26 während der Betriebsart "Empfang" an dem zweiten Ende 48b der Übertragungsleitung 48 von dem Antennenport 32 elektrisch entkoppelt, so daß praktisch das gesamte empfangene Mikrosignal von der Übertragungsleitung 22i über die Übertragungsleitung 62 in den Empfangskanal 28 gekoppelt und sein Eindringen in den Sendekanal 26 verhindert ist.

Der Mikrowellen-Signalfad zwischen der Drain-Elektrode 36d und dem Antennenport 32 beinhaltet die Ausgangs-Anpassungsschaltung 40 und die Übertragungsleitung 48. Bei der Nennfrequenz f_c des Mikrowellensignals wird dieses von der Ausgangs-Anpassungsschaltung 40 mit einer vorbestimmten Phasenverschiebung θ_1 beaufschlagt. Die Länge der Übertragungsleitung 48 erzeugt eine zusätzliche Phasenverschiebung θ_2 des Mikrowellensignals, so daß die Beziehung $\theta_1 + \theta_2 = n\lambda_c/4$ befriedigt ist, worin $n\lambda_c/4$ ein ungeradzahliges Vielfaches der nominalen Viertelwellenlänge des Mikrowellensignals ist. Bekanntlich wird ein Kurzschluß gegen Erde an einem Ende (d. h. der Drain-Elektrode 36d) eines Schaltungspfades der einem ungeradzahligem Vielfachen der Viertelwellenlänge entspricht, in einen offenen Stromkreis an dem zweiten Ende (d. h. an dem Antennenport 32) des Schaltungspfades transformiert.

Die Sende-/Empfangs-Umschaltung des Sendekanals 26 an dem Antennenport 32 erfolgt also dadurch, daß die Vorspannung des Leistungs-Feldeffekttransistors 36 abgeschaltet wird, wodurch an der Drain-Elektrode 36d ein Kurzschluß gegen Erde entsteht, der durch die $n\lambda_c/4$ -Gesamtphasenverschiebung zwischen der Drain-Elektrode 36d und dem Antennenport 32 an Letzterem in eine hohe Impedanz transformiert wird. Somit ist verhindert, daß die von dem Antennenelement 18i empfangene Energie an dem Antennenport 32 in den Sendekanal 26 eintritt. Der Sendekanal 26 ist an dem zweiten Ende 48b der Übertragungsleitung 48 elektrisch von dem Antennenport 32

entkoppelt. Diese Entkopplung ermöglicht es, daß praktisch das gesamte von dem Ziel reflektierte und von dem Antennenelement 18i empfangene Mikrowellensignal von der 50-Ohm-Übertragungsleitung 22i in die Übertragungsleitung 62 des Empfangskanals 28 gekoppelt wird. Die Sende-/Empfangs-Schaltanordnung gemäß der Erfindung bildet die letzte Stufe 36 des Sendeverstärkers 34, die zwischen zwei Betriebsarten umgeschaltet wird: Dem Verstärkungsbetrieb während des Sendens und einem geschalteten Betrieb während des Empfangs. Während des Sendens ist der Feldeffekttransistor 36 nicht in seinem pinch-off-Zustand, so daß die Gate-Drain-Durchbruchsspannung während positiver Augenblickswerte des verstärkten, gesendeten Mikrowellensignals nicht erreicht wird und größere Mikrowellenleistung von dem Transceiver ausgesendet werden kann.

Bei der Betrachtung des Empfangskanals 28 (Figur 2) fällt zunächst auf, daß dieser im wesentlichen dieselbe Konfiguration hat wie der in Figur 3 dargestellte Sendekanal 26. Während des Empfangs wird das empfangene Mikrowellensignal von dem Antennenelement 18i über die Übertragungsleitung 22i zu dem Antennenport 32 übertragen. Die Sende-/Empfangsschaltanordnung in dem Sendekanal 26 verhindert in der oben beschriebenen Weise, daß dieses Mikrowellensignal in die Übertragungsleitung 48 eintritt. Somit wird praktisch das gesamte empfangene Mikrowellensignal an dem Antennenport 32 in das erste Ende 62a der Übertragungsleitung 62 eingespeist und breitet sich auf dieser zu dem Eingangsport 48 des Empfangsverstärkers aus. Wie erwähnt, ist das Empfangs-Steuersignal auf der Leitung 17i während der Betriebsart "Empfang" auf eine logische "0" gesetzt. Die Vorspannungs-Steuereinheit 72, die im wesentlichen den gleichen Aufbau hat wie die Vorspannungs-Steuereinheit 70, legt an die Leitung 76 eine Gleichspannung an, die groß genug ist, um den Schalt-Feldeffekttransistor 68 während des Empfangsbetriebs im pinch-off-Zustand zu halten. Der Feldeffekttransistor 68 ist somit nichtleitend und besitzt eine hohe Impedanz zwischen der Drain-Elektrode 68d

3522564

und der Source-Elektrode 68s, die das Abfließen des Mikrowellensignals durch den Feldeffekttransistor 68 zur Erde verhindert. Praktisch das gesamte Mikrowellensignal wird dann von dem zweiten Ende 62b der Übertragungsleitung 62 in den Empfangsverstärker 50 gekoppelt. Die Eingangs-Anpassungsschaltung 54 transformiert den Wellenwiderstand (etwa 50 Ohm) der Übertragungsleitung 62 in eine geeignete Impedanz, die die Last der Gate-Elektrode 52g bildet. Diese Impedanz ist so bemessen, daß sich für den Verstärker eine optimale Rauschzahl ergibt, und somit nicht notwendigerweise an die Eingangsimpedanz des Feldeffekttransistors 52 angepaßt. Daher kann eine Impedanz-Fehlanspassung an der Gate-Elektrode 52g gegeben sein. Eine eventuelle Verringerung der Verstärkung und des Wirkungsgrades des Feldeffekttransistors, die hierdurch verursacht ist, wird durch die Optimierung des Verstärkerbetriebs bei der Anwesenheit von Rauschen ausgeglichen.

Der Feldeffekttransistor 52 ist ein n-Kanal-Transistor vom Verarmungstyp für Kleinsignalbetrieb. Bei seiner Auswahl ist mehr Wert gelegt auf optimale Rauschzahl und Verstärkung als auf maximale Ausgangsleistung. Während des Empfangs legt die Vorspannungs-Steuereinheit 72 Gleichspannungen an die Leitungen 82 und 84, durch die die Gate- und die Drain-Elektrode 52g bzw. 52d über die Eingangs-Anpassungsschaltung 54 bzw. die Ausgangs-Anpassungsschaltung 56 vorgespannt werden und die Vorspannungen sind so bemessen, daß der Feldeffekttransistor 52 in der Mitte seines aktiven Bereichs arbeitet. Wie bei dem Feldeffekttransistor 36 ist auch bei dem Feldeffekttransistor 52 die Source-Elektrode 52s direkt mit Erde verbunden. Der rauscharme Feldeffekttransistor 52, der so vorgespannt ist, verstärkt das an seine Gate-Elektrode 52g angelegte Mikrowellensignal und liefert das verstärkte Mikrowellensignal an der Drain-Elektrode, von wo aus es über die Ausgangs-Anpassungsschaltung 56 zu dem Ausgangsport 60 des Empfangsverstärkers geführt wird. Die Ausgangs-Anpassungsschaltung 56 bildet für den rauscharmen Feldeffekttransistor-

Verstärker 52 eine Lastimpedanz, die an dessen Ausgangsimpedanz angepaßt ist, die üblicherweise etwa 100 bis 400 Ohm beträgt. Diese angepaßte Lastimpedanz maximiert den Verstärkungsgrad des rauscharmen Feldeffekttransistors 52. Die Ausgangs-Anpassungsschaltung 56 bildet ferner eine Shunt-Impedanz für den Ausgleich der parasitären Reaktanz des rauscharmen Feldeffekttransistors 52. Hier gilt ähnliches wie bei dem Ausgleich der parasitären Reaktanz 39 in dem Sendeverstärker 34 durch die Induktivität 98. Die Ausgangs-Anpassungsschaltung 56 transformiert außerdem die Ausgangsimpedanz des Feldeffekttransistors 52 auf den Wellenwiderstand der Übertragungsleitung 64 (typisch etwa 50 Ohm) an dem Ausgangsport des Empfangsverstärkers 60. Somit wird die Übertragungsleitung 64 durch eine Impedanz angepaßte Mikrowellensignalquelle gespeist, wodurch die Effektivität der Signalankopplung maximiert und unerwünschte Mikrowellenreflexionen an dem ersten Ende 64a der Übertragungsleitung 64 minimiert werden. Das Mikrowellensignal wird über die Übertragungsleitung 64 zu dem Port 30 des Phasenschiebers übertragen, von wo aus es über die 50-Ohm-Übertragungsleitung 24i dem Phasenschieber 20i zugeführt wird.

Das Eindringen des an dem Port 30 des Phasenschiebers anliegenden Mikrowellensignals in den Sendekanal 26 über die Übertragungsleitung 46 wird folgendermaßen verhindert: Während der Betriebsart "Empfang" bewirkt eine logische "1" auf der Steuerleitung 17i, das die Vorspannungs-Steuereinheit 70 Erdpotential (Null Volt Gleichspannung) an die Leitung 74 anlegt. Die Gate-Elektrode 66g (Figur 3) wird somit von der Versorgungsquelle 71a nicht länger auf die pinch-off-Spannung vorgespannt, sondern führt die Spannung Null Volt. Infolgedessen ist der leitende Kanal zwischen der Drain-Elektrode 66d und der Source-Elektrode 66s über seine ganze Breite stromleitend und bildet somit eine niedrige Impedanz zwischen der Drain- und Source-Elektrode 66d bzw. 66s. Dies stellt effektiv einen Kurzschluß gegen Erde an dem zweiten Ende 46b der Übertragungsleitung 46 dar. Wie in Figur 3 angedeutet ist, entspricht

die Länge der Übertragungsleitung 46 einem ungeradzahligen Vielfachen der Viertelwellenlänge ($n\lambda_c/4$) des Mikrowellensignals bei Nennfrequenz. Eine solche Viertelwellenlängen-Übertragungsleitung 46 transformiert den Kurzschluß gegen Erde an dem zweiten Ende 46b praktisch in einen Leerlauf an dem ersten Ende 46a und damit an dem Phasenschieber-Port 30. Das dem Phasenschieberport 30 von dem Empfangskanal 26 zugeführte Mikrowellensignal (Figur 2) sieht mithin den Sendekanal 26 als offenen Stromkreis. Somit wird praktisch das gesamte Mikrowellensignal von dem Empfangskanal 28 aus dem Transceiver 16i auf die 50-Ohm-Übertragungsleitung 24i gekoppelt. Der Sendekanal 26 ist daher bei der Betriebsart "Empfang" an dem zweiten Ende 46b der Übertragungsleitung 46 von dem Phasenschieber-Port 30 elektrisch entkoppelt.

Wie erwähnt wurde, haben der Sendekanal 26 und der Empfangskanal 28 im wesentlichen die gleiche Konstruktion. Somit ist während der Betriebsart "senden" der Empfangskanal 28 von dem Phasenschieber-Port 30 und dem Antennenport 32 in ähnlicher Weise elektrisch entkoppelt, wie dies oben für den Sendekanal 26 während der Betriebsart "Empfang" beschrieben wurde. Es sei nun gemeinsam auf Figur 2 und 3 Bezug genommen: Während der Betriebsart "senden" liegt die Vorspannungs-Steuereinheit 72 als Antwort auf eine logische "1" auf der Leitung 17i Erdpotential (Null Volt Gleichspannung) an die Leitungen 76, 82 und 84. Das Abschalten der Stromversorgung von der Gate- und der Drain-Elektrode 52g bzw. 52d des rauscharmen Feldeffekttransistors 52 bewirkt, daß der leitende Kanal zwischen der Drain-Elektrode 52d und der Source-Elektrode 52s über die gesamte Breite stromführend wird und somit eine niedrige Impedanz zwischen der Drain-Elektrode 52d und Erde liegt. Die Länge der Übertragungsleitung 64 bewirkt bei der Mikrowellen-Nennfrequenz f_c eine Phasenverschiebung, die zusammen mit der Phasenverschiebung der Ausgangs-Anpassungsschaltung 56 eine Gesamtphasenverschiebung bildet, die einem ungeradzahligen Vielfachen einer Viertelwellenlänge ($n\lambda_c/4$, mit $n = 1, 3, 5, \dots$)

zwischen der Drain-Elektrode 52d und dem Port 30 des Phasenschiebers entspricht. Der Kurzschluß der Drain-Elektrode 52d gegen Erde wird somit in eine hohe Impedanz an dem Phasenschieber-Port 30 transformiert.

Die Sende-/Empfangs-Umschaltung des Empfangskanals 28 an dem Phasenschieber-Port 30 wird also erfindungsgemäß durch das Abschalten der Vorspannungen des Feldeffekttransistors 52 bewirkt, wodurch ein Kurzschluß zwischen der Drain-Elektrode 52d und Erde erzeugt wird, der infolge der Gesamtphasenverschiebung von $n\lambda_c/4$ zwischen der Drain-Elektrode 52d und dem Phasenschieber-Port 30 in eine hohe Impedanz an den Phasenschieber-Port 30 transformiert wird. Das von dem Radarsystem 12 kommende Mikrowellensignal an dem Phasenschieber-Port 30 kann während des Sendens also nicht in den Empfangskanal 28 eindringen. Somit ist der Empfangskanal 28 an dem zweiten Ende 64b der Übertragungsleitung 64 von dem Phasenschieber-Port 30 elektrisch entkoppelt. Diese Entkopplung ermöglicht, daß im wesentlichen das gesamte auszusendende Mikrowellensignal von der 50-Ohm-Übertragungsleitung 24i zu der Übertragungsleitung 46 des Sendekanals 26 gelangt. Man sieht hieraus, daß die Sende-/Empfangs-Schaltanordnung gemäß der Erfindung die letzte Stufe 52 des Empfangsverstärkers 50 bildet, die zwischen zwei Betriebsarten umschaltbar ist, nämlich den Verstärkerbetrieb während des Empfangs und den ausgeschalteten Zustand während des Sendens. Während des Empfangs ist der Feldeffekttransistor 50 nicht in den pinch-off-Zustand gehalten, so daß seine Gate-Drain-Durchbruchsspannung während der positiven Augenblickswerte des verstärkten, empfangenen Mikrowellensignals nicht erreicht wird.

Das Erdpotential auf der Leitung 76, das an der Gate-Elektrode 68g des Feldeffekttransistors 68 anliegt, führt diesen aus den pinch-off-Zustand und ermöglicht, daß der Strom im wesentlichen ungehindert von der Drain-Elektrode 68d zu der Source-Elektrode 68s fließen kann, so daß an dem zweiten Ende 62b

3522564

der Übertragungsleitung 62 ein Kurzschluß gegen Erde erzeugt wird. Die Länge der Übertragungsleitung 62 ist ein ungeradzahliges Vielfaches einer Viertelwellenlänge bei Nennfrequenz. Die Übertragungsleitung 62 transformiert daher den Kurzschluß gegen Erde am zweiten Ende 62b in eine hohe Impedanz an dem Antennenport 32. Der Empfangskanal 28, der sowohl an dem Phasenschieberport 30 als auch an dem Antennenport 32 als offener Stromkreis erscheint, ist während der Betriebsart "senden" von dem Antennenport und dem Phasenschieber-Port 30 bzw. 32 elektrisch entkoppelt.

Figur 4 zeigt eine abweichende Ausführungsform der Sende-/Empfangs-Schaltanordnung gemäß der Erfindung. Die Modifizierung betrifft den Sendekanal 26, obwohl sie ebenso gut an dem Empfangskanal 28 vorgenommen werden kann. Der modifizierte Sendekanal ist mit 26' bezeichnet. Er liegt in der Verbindung zwischen dem Phasenschieberport 30 und dem Antennenport 32 und ist ähnlich aufgebaut wie der Sendekanal 26 von Figur 3. Der Sendekanal 26' umfaßt einen Transistorverstärker 34', einen Schalt-Feldeffekttransistor 66' sowie Übertragungsleitungen 46' und 48', die in der dargestellten Weise zwischen dem Phasenschieberport 30 und dem Antennenport 32 liegen. Die Vorspannungs-Steuereinheit 70', die durch logische Steuersignale auf der Leitung 17i gespeist wird, liefert auf den Leitungen 78 und 80 schaltbare Vorspannungen für den Sendeverstärker 34' sowie auf der Leitung 74 ein Schaltsignal für den Schalt-Feldeffekttransistor 66'.

Der Schalt-Feldeffekttransistor 66' ist hier mit dem Phasenschieberport 30 und der Übertragungsleitung 46' in Reihe geschaltet, indem die Source-Elektrode 66s' mit dem Phasenschieber-Port 30 und die Drain-Elektrode 66d mit dem ersten Ende 46a' der Übertragungsleitung 46' verbunden sind. Das zweite Ende 46b' ist mit dem Eingangsport 42 des Sendeverstärkers verbunden. Die Übertragungsleitung 46' besitzt einen vorbestimmten Wellenwiderstand, der im vorliegenden Fall

3522564

50 Ohm beträgt. Der Eingangsport 52 ist über die Eingangs-Anpassungsschaltung 38 mit der Gate-Elektrode 36g des Leistungs-Feldeffekttransistors 36 verbunden. Wie oben bereits diskutiert wurde, können Verstärkungs- und Leistungsanforderungen die Verwendung eines mehrstufigen Empfängers erforderlich machen. In diesem Fall bildet der Feldeffekttransistor 36 die Endstufe eines solchen Verstärkers. Die Eingangs-Anpassungsschaltung 38 besitzt denselben Aufbau wie in Figur 3. Der Leistungs-Feldeffekttransistor 36 wird in Source-Schaltung betrieben, wobei seine Source-Elektrode 36s geerdet ist. Die Drain-Elektrode 36d ist über eine modifizierte Ausgangs-Anpassungsschaltung 40' mit dem Ausgangs-Port 44 verbunden. Die Übertragungsleitung 48', die im vorliegenden Fall einen Wellenwiderstand von 50 Ohm besitzt, ist mit dem ersten Ende 48a' mit dem Ausgangs-Port 44 des Sendeverstärkers und an dem zweiten Ende 48b' mit dem gemeinsamen Antennenport 32 verbunden.

Während der Betriebsart "senden" legt das Radarsystem 12 (Figur 1) eine logische "0" an die Leitung 17i, wodurch die Schalter 75a, 75b und 75c in der normalen geschlossenen Stellung (NC) gehalten werden. Infolgedessen liegt die Leitung 74 auf Erdpotential, das zu der Gate-Elektrode 66g' des Schalt-Feldeffekttransistors 66' übertragen wird. Letzterer ist ein n-Kanal-Transistor vom Verarmungstyp. Daher bewirkt die an seiner Gate-Elektrode 66g' anliegende Null-Volt-Spannung, daß der Leitfähigkeitskanal zwischen der Source- und der Drain-Elektrode 66s' bzw. 66d' voll stromführend sind. Das auszusendende Mikrowellensignal wird deshalb von der Übertragungsleitung 24i zu der Übertragungsleitung 46' übertragen, ohne daß der Feldeffekttransistor 66' merkliche Verluste verursacht. Das Mikrowellensignal wird ferner über die Übertragungsleitung 46' und die Eingangs-Anpassungsschaltung 48 geführt und liegt an der Gate-Elektrode 36g des Leistungs-Feldeffekttransistors 36 an. Wenn sich die Umschalter 75b und 75c in der NC-Position befinden, liegen die Vorspannungen der Versorgungsquellen 71b und 71c an den Leitungen 78 bzw. 80 und damit über die

3522564

Anpassungsschaltungen 38 bzw. 40' an der Gate-Elektrode 36g bzw. der Drain-Elektrode 36d an. Dadurch wird der Feldeffekttransistor 36 in die Mitte seines aktiven Bereichs vorgespannt und liefert an seiner Drain-Elektrode 36d das der Gate-Elektrode 36g zugeführte, um einen vorbestimmten Betrag verstärkte Mikrowellensignal. Das verstärkte Mikrowellensignal wird über die modifizierte Ausgangs-Anpassungsschaltung 40' und die Übertragungsleitung 48' zu dem gemeinsamen Antennenport 32 geführt, von wo aus es über die Übertragungsleitung 22i zu dem Antennenelement 18i (Figur 1) gelangt.

Die Ausgangs-Anpassungsschaltung 40' beinhaltet einen Abstimmkondensator 96', der mit einem Anschluß an die Drain-Elektrode 36d und die Abstimmkapazität 98' angeschlossen ist. Die Abstimmkapazität 98' ist in Reihe mit einem Blockkondensator 100' mit Erde verbunden. Der Verbindungspunkt der beiden Komponenten ist über die Leitung 80 mit der Vorspannungs-Steuereinheit 70' verbunden. Der zweite Anschluß des Abstimmkondensators 96' ist mit dem Ausgangsport 44 des Sendeverstärkers und über die Abstimminduktivität 104' mit Erde verbunden. Mit dieser Konfiguration bildet die Ausgangs-Anpassungsschaltung 40' ein herkömmliches "voreilendes Netzwerk". D. h. die Mikrowellensignale, die ihm von dem Feldeffekttransistor 36 zugeführt werden und an dem Antennenport 44 erscheinen, besitzen gegenüber den an der Drain-Elektrode 36d anliegenden Signalen eine um einen vorbestimmten Betrag 0_1 ' voreilende Phase. Das in Figur 3 dargestellte "nacheilende Netzwerk" steht hierzu im Gegensatz. Bei ihm verzögert die Ausgangs-Anpassungsschaltung 40 die Phase der Mikrowellensignale um den Betrag 0_1 . Die Werte der Abstimminduktivitäten 98' und 104', des Abstimmkondensators 96' sowie, in geringerem Maße, des Blockkondensators 100' sind so bemessen, daß die Ausgangs-Anpassungsschaltung 40' für den Feldeffekttransistor 36 bei Nennfrequenz f_c eine Belastung darstellt, durch die die Ausgangsleistung und der Wirkungsgrad des Feldeffekttransistors 36 maximiert werden. Die Ausgangs-Anpassungsschaltung

3522564

40 transformiert ferner diese Belastung in den Wellenwiderstand der Übertragungsleitung 48', der im vorliegenden Fall 50 Ohm beträgt. Der Wert der Abstimminduktivität 98' ist ferner so bemessen, daß die parasitäre Reaktanz 39 des Feldeffekttransistors 36 bei Nennfrequenz f_c ausgeglichen wird.

Während des Empfangs ist der Sendekanal 26' von dem Phasenschieber- und den Antennenport 30 bzw. 32 auf folgende Weise entkoppelt: Das Radarsystem 11 legt an die Leitung 17i eine logische "1" an, wodurch die Umschalter 75a, 75b und 75c in die normale geöffnete Stellung (NO) umgeschaltet werden. Dadurch wird die Vorspannung von dem Feldeffekttransistor 36, der ein n-Kanal-Transistor vom Verarmungstyp ist, entfernt, so der Leitfähigkeitskanal zwischen Source- und Drain-Elektrode 36d bzw. 36s voll stromführend wird. Wie oben erläutert wurde, entsteht dadurch ein Mikrowellen- und Gleichspannungs-Kurzschluß an der Drain-Elektrode 36d gegen Erde. Der Phasenvorlauf θ_1' der Ausgangs-Anpassungsschaltung 40' und die Phasenverzögerung θ_2' der Übertragungsleitung 48' erzeugen eine gesamte Phasendifferenz, die einem ungeradzahligen Vielfachen einer Viertelwellenlänge ($n\lambda_c/4$, $n = 1, 3, 5 \dots$) entspricht, zwischen der Drain-Elektrode 36d und dem Antennenport 32. Diese Phasendifferenz kann eine Phasenvoreilung von $n\lambda_c/4$ sein, in diesem Fall ist θ_1' so bemessen, daß eine Phasenvoreilung von etwas mehr als $n\lambda_c/4$ entsteht, wobei die Phasenverzögerung θ_2' eine Phasennacheilung einführt, die gerade ausreicht, um eine Gesamtvoreilung von $n\lambda_c/4$ zu erzeugen. Wie bereits erläutert wurde, transformiert die $n\lambda_c/4$ -Phasendifferenz den Kurzschluß der Drain-Elektrode 36d in einen Widerstand, der, verglichen mit dem Wellenwiderstand des Empfangskanals 28, praktisch einem Leerlauf entspricht. Dadurch wird der Sendekanal 26' von dem Antennenport 32 an dem zweiten Ende 48b' der Übertragungsleitung 48' elektrisch entkoppelt. Somit wird im wesentlichen das gesamte von dem Antennenelement 18i empfangene Signal an dem Antennenport 32 über die Übertragungsleitung 62 dem Empfangskanal 28 zugeführt.

Der Sendekanal ist von dem Phasenschieber-Port 30 durch den in Reihe geschalteten Feldeffekttransistor 66' elektrisch entkoppelt. Wenn sich der Schalter 75a während der Betriebsart "Empfang" in der NO-Position befindet, wird der Gate-Elektrode 66g' eine Gleichspannung von der Versorgungsquelle 71a zugeführt. Diese Spannung ist so bemessen, daß sie in Größe und Polarität (negativ für einen N-Kanal-Feldeffekttransistor) ausreicht, den Leitfähigkeitskanal zwischen der Source- und der Drain-Elektrode 66s' bzw. 66d' einzuschnüren. Infolgedessen ist die Impedanz zwischen den Elektroden 66s' und 66d' im Vergleich zu dem Wellenwiderstand (typisch 50 Ohm) der Übertragungsleitung 24i hoch. Durch diese hohe Impedanz wird der Sendekanal 26' von dem Phasenschieber-Port 30 an dem ersten Ende 46a' der Übertragungsleitung 46' elektrisch entkoppelt. Das dem Phasenschieber-Port 30 von der Übertragungsleitung 64 des Empfängerkanals 28 zugeführte Mikrowellensignal wird im wesentlichen vollständig über die Übertragungsleitung 24i zu dem Phasenschieber 20i übertragen (Figur 1). Da der Schalter im Längszweig liegt, muß die Länge der Übertragungsleitung 46' nicht notwendigerweise so bemessen sein, daß sie eine Phasenverschiebung um eine Viertelwellenlänge ($n\lambda_c/4$) erzeugt.

Die Erfindung ist nicht auf die vorangehend beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt. So können beispielsweise der Sendeverstärker 34 und der Empfangsverstärker 36 statt als einstufige auch als mehrstufige Feldeffekttransistor-Verstärker ausgebildet sein, solange nur die Vorspannung der Endstufe in der beschriebenen Weise schaltbar ist. Die Feldeffekttransistoren 36 und 52, die als n-Kanal-Transistoren vom Verarmungstyp beschrieben wurden, können auch p-Kanal-Feldeffekttransistoren sein. Sie müssen auch nicht notwendigerweise vom Verarmungstyp sein, es können vielmehr auch p- oder n-Kanal-Feldeffekttransistoren vom Anreicherungstyp Verwendung finden. In diesem Fall werden die Feldeffekttransistoren in den Zustand mit niedriger Impedanz gesteuert, indem die Vorspannung an der Drain-Elektrode auf Null Volt und die Gate-

3522564

Vorspannung auf einen Spannungswert umgeschaltet werden, der so groß und so gepolt ist, daß ein maximal angereicherter Leitfähigkeitskanal zwischen der Drain- und der Source-Elektrode gebildet wird. Ferner können anstelle der in dem beschriebenen Radarsystem verwendeten Übertragungsleitungen mit einem Wellenwiderstand von 50 Ohm auch Übertragungsleitungen mit abweichendem Wellenwiderstand, beispielsweise 75 Ohm, Verwendung finden. Ebenso können anstelle der dargestellten und beschriebenen Ausführungsformen der Eingangs- und Ausgangs-Anpassungsschaltungen auch andere Ausführungsformen verwendet werden. Schließlich sei erwähnt, daß die Mikrowellenschaltung in den beschriebenen Transceiver auf einem halbleitenden Substrat, beispielsweise Galliumarsenid (GaAs) mit einer gemeinsamen Grundfläche ausgebildet sein können.

-49-

- Leerseite -

THIS PAGE BLANK (USPTO)

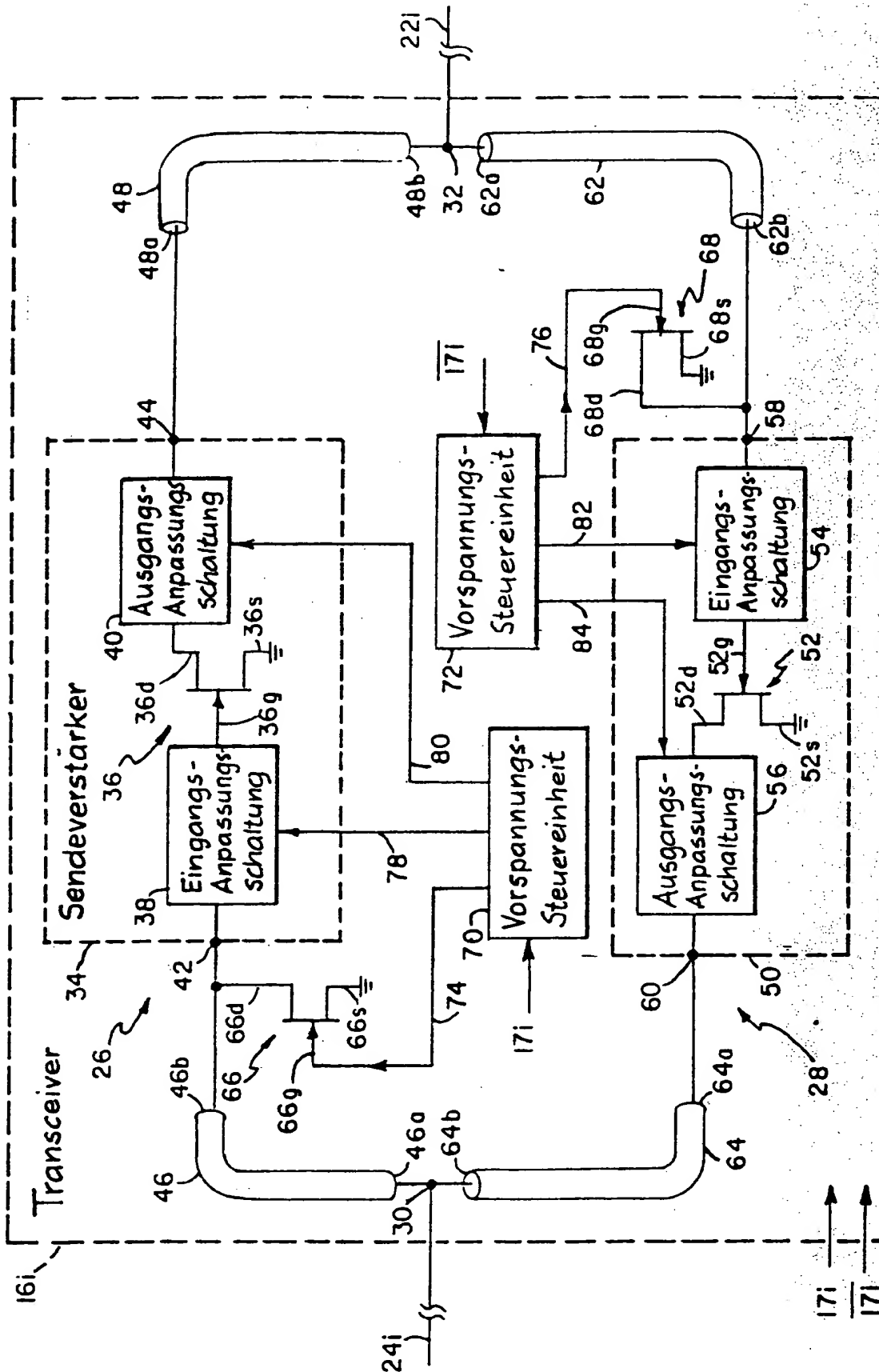


FIG. 2

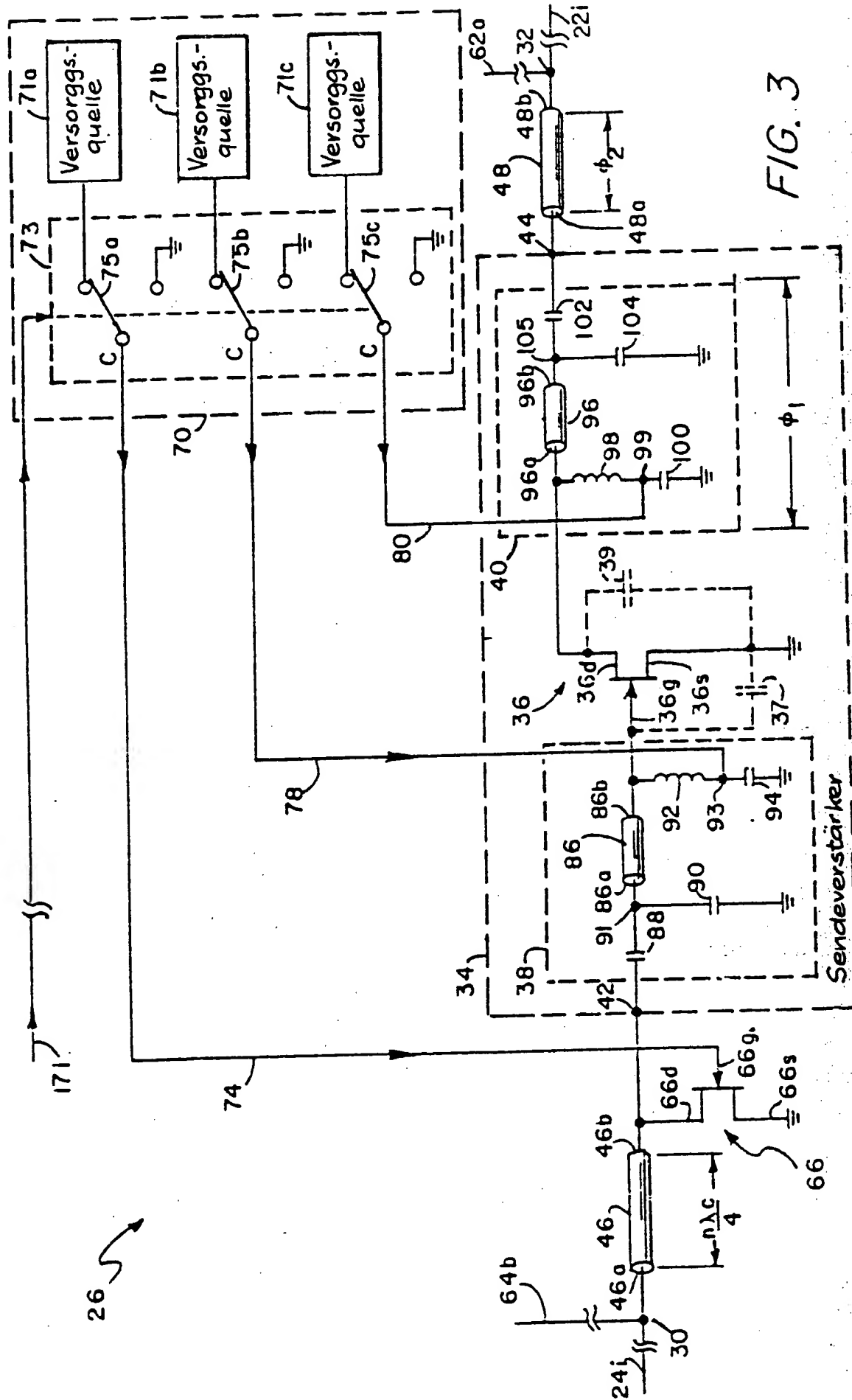


FIG. 3

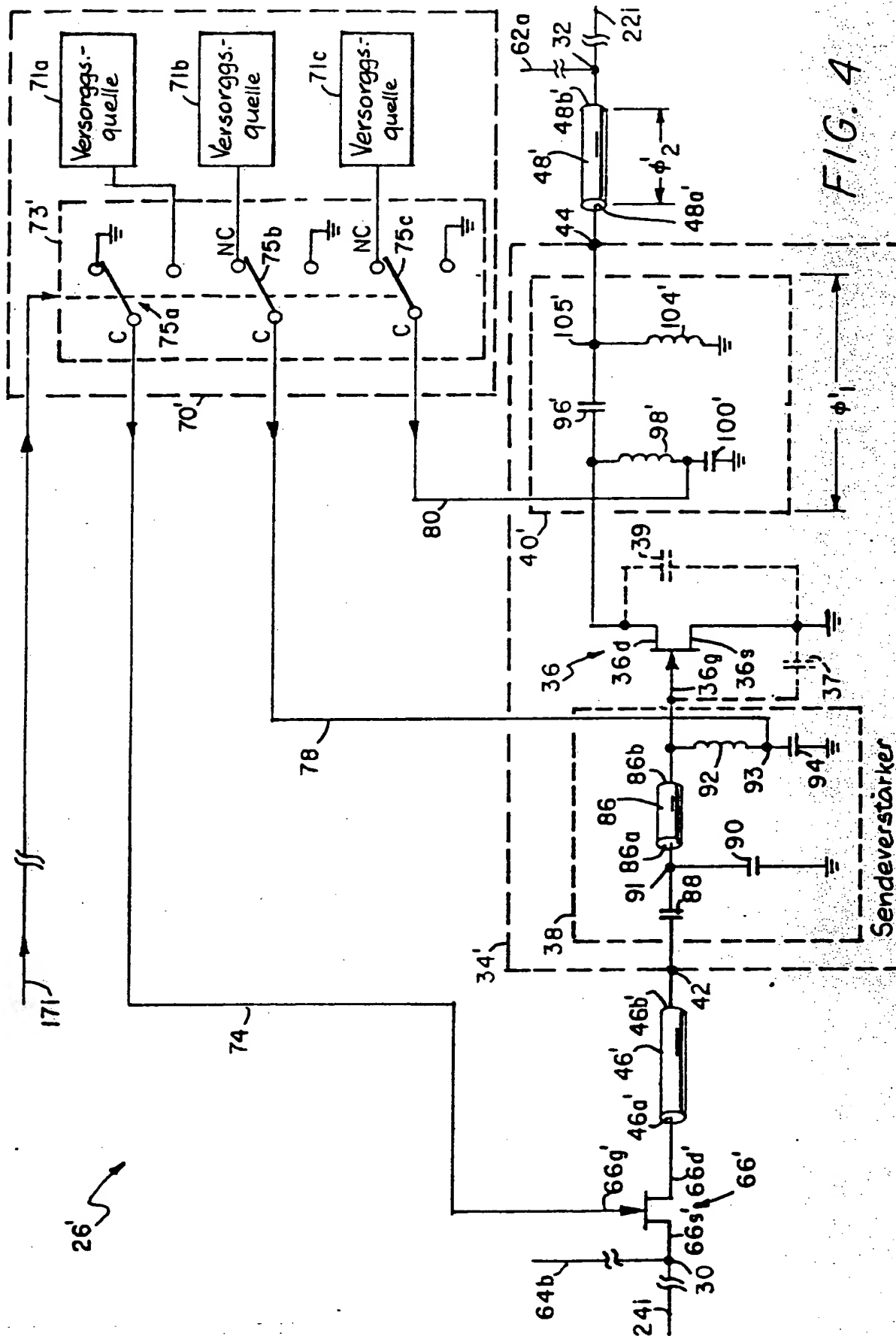


FIG. 4

